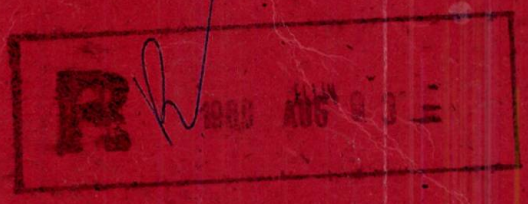
E 2040/1

ETE

R 1988 AUG 9 0 E

Referatul



Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 36 • NR. 1 • IANUARIE 1988

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ANUL 36 Nr. 1 ianuarie 1988

ELECTROTEHNICA
CUPRINS

CZ 621.337 :629.43
ACŢIONARE ELECTRICĂ
RAMĂ DE METRO
Juncu, M., Văduva, Al., Hurezeanu, Gh. : **Ramă de metro acţionată cu motoare asincrone rotative.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36** ,nr. 1, ian 1988, p. **1**
Se prezintă noua acţionare a ramei de metro nr. 23 din Bucureşti, în urma înlocuirii motorului de c.c. şi a echipamentului convenţional, cu motor asincron rotativ şi echipament electronic de comandă şi control. Sînt tratate succint schema-bloc de acţionare, schema-bloc a circuitului de protecţie şi controlul automat al circuitului intermediar, circuitul electronic de schimbare a regimului de comutaţie, al invertorului trifazat şi, în final, sînt prezentate diagrame rezultate din programul de măsurători.

CZ 621.317.2 + 621.317.3
INSTALAŢII DE MĂSURĂ
TENSIUNE TRANZITORIE DE RESTABILIRE
Rarinca, O., Defta, M. : **Instalaţie pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire prezumate în circuitele de încercare a capacităţii de comutaţie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 5
Instalaţia prezentată în acest material se bazează pe metoda injecţiei de curent de frecvenţă industrială, este transportabilă şi permite determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire la locul de încercat.

CZ 621.317.2
IMPULSURI DE COMUTAŢIE
TRANSFORMATOARE ÎN CASCADĂ
COMANDĂ OPTOELECTRONICĂ
Marinescu, A., Gaber, E., Filişeanu, V. : **Instalaţie pentru producerea supratensiunilor de comutaţie cu transformatoare de încercare în cascadă.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 7
Se prezintă : o instalaţie de producere a impulsurilor de tensiune de comutaţie cu o cascadă de transformatoare bazată pe comandă optică şi cu alimentare din baterie, insensibilă la perturbaţii electromagnetice ; principiul de funcţionare al schemei ; detalii tehnice privind modul de realizare a comenzii optice ; construcţia contactoarelor statice şi testarea la perturbaţii electromagnetice ; sursa de alimentare la potenţial înalt etc.

CZ 621.313.3
MOTOR ASINCRON DE JOASĂ TENSIUNE
PROIECTAREA MOTOARELOR ELECTRICE
Popescu, E., Toaxen, E., Sima, F. : **Particularităţi de proiectare şi execuţie a motoarelor asincrone de joasă tensiune în construcţie navală.**
E.E.A. — **Electrotehnica** 36, nr. 1, ian 1988, p. 12
Motoarele electrice ce echipează navele diferă în mod substanţial de motoarele de uz general atît din punct de vedere al parametrilor de funcţionare, cît şi constructiv. Ele trebuie să fie suple dar robuste, ţinînd seama de regimul de lucru cu vibraţii specifice pe nave. Lucrarea prezintă ansamblul de probleme de proiectare care s-a avut în vedere la concepţia acestei categorii de motoare vizînd atît particularităţile de calcul, precum şi soluţiile constructive speciale adoptate.

CZ 621.333
GENERATOR ASINCRON DE TRACŢIUNE
Coman, M., Enescu, Z., Coman, M. : **O nouă generaţie de generatoare sincrone cu performanţe ridicate pentru tracţiunea feroviară.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 14
Se prezintă o nouă generaţie de generatoare sincrone de tracţiune, antrenate de motoare diesel ALCO. Faţă de maşinile vechi, în construcţie monobloc, aici generatorul auxiliar, generatorul sincron de excitaţie şi priza de putere pentru antrenarea unui ventilator pe locomotivă se află dispuse la 120° pe scutul generatorului principal, cuplate prin roţi dinţate.

CZ 621.313.3
MOTOR ASINCRON DE ÎNALTĂ TENSIUNE
REGIM TRANZITORIU
Ionescu, C., Mitran, D. : **Asupra solicitărilor care apar în motoarele asincrone de înaltă tensiune la comutarea surselor de alimentare.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian. 1988, p. 17
Se prezintă o metodă care să permită solicitarea motoarelor asincrone de î.t. la cuplul maxim negativ ce poate să apară, în vederea adoptării de soluţii constructive care să permită creşterea fiabilităţii acestora.

CZ 621.333.
MOTOR DE TRACŢIUNE
IZOLAŢIE ELECTRICĂ
Coghias, H. ş.a. : **Noua serie de motoare de c.c. pentru tracţiunea feroviară diesel-electrică.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 20
Lucrarea tratează despre o nouă serie de motoare de c.c., cu puteri de 45, 165 şi 235 kW pentru echiparea locomotivelor diesel-electrice fabricate la IEP—Craiova.

CZ 621.313.3
MOTOR ASINCRON
STAND DE ÎNCERCARE
Ionescu, C., Ioana, V., Prusacov, N. : **Consideraţii asupra comportării motoarelor asincrone la porniri repetate.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian. 1988, p. 22
Se prezintă soluţii de realizare a unui stand pentru încercarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit la porniri repetate, în vederea creşterii fiabilităţii lor.

CZ 519.6 :621.316.54
CÎMP ELECTRIC
MODELARE (MECANICĂ, FIZICĂ)
Hurdubeţiu, S. ş.a. : **Program de calcul pentru studiul cîmpului electric în izolatorul-suport al camerei de stingere cu electrod intermediar (ELPOL).**
E.E.A.—**Electrotehnica 36, nr. 1, ian 19088, p. 25**
Camerele de stingere ale întreruptoarelor de î.t. cu anvelopă din porţelan prezintă adesea electrozi de ecranare sau flanşe intermediare, a căror dimensionare corectă impune cunoaşterea potenţialului lor electric şi a repartiţiei cîmpului electric în zonele adiacente, în situaţia tridimensională particulară în care funcţionează în practică. Articolul prezintă structura unui program de calcul numeric care rezolvă obiectivele menţionate folosind metoda sarcinilor echivalente.

CZ 681.332.3 + 681.3.06
PROIECTARE ASISTATĂ
GRAFICA 2D PE CALCULATOR
CIRCUITE IMPRIMATE
Dogaru, D. : **Facilităţi pentru proiectarea şi prelucrarea asistată a circuitelor imprimate, utilizînd microcalculatoare personale şi peronal-profesionale.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 28
Articolul prezintă preocupările existente la I.C.S.I.T. — M.T.A.E. pentru utilizarea unor programe de grafică 2D în scopul uşurării activităţii de proiectare şi realizare a circuitelor imprimate, în condiţiile accesului la microcalculatoare.

CZ 681.317.79
TIMP DE RĂSPUNS
CÎNTĂRIRE ELECTRONICĂ
Berceanu, D. : **Dispozitiv pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor şi filtrelor utilizate în instalaţiile de cîntărire electronică.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 32
Se prezintă realizarea unui dispozitiv pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor şi filtrelor utilizate în instalaţiile de cîntărire electonică, dat fiind faptul că realizarea unui impuls (şoc)-treaptă nu este posibil cu mijloace mecanice.

CZ 621.317.3
MĂSURAREA PUTERII ACTIVE
METODA NUMERICĂ DE MĂSURARE
Gaber, E. : **Determinarea perioadei de eşantionare pentru măsurarea numerică a puterii active în regim periodic.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 1988, p. 34
Se dau relaţiile de calcul al valorii minime a perioadei de eşantionare care asigură precizia de măsură în cazul semnalelor cu spectru de frecvenţă finit şi se discută aspecte practice ale măsurătorilor la frecvenţa industrială.

CZ 621.375.2 :621.318
TRANSDUCTOR MAGNETIC
CURBA DE MAGNETIZARE
Tiulescu, S., Nedelcuţ, D., Oanţă, Gh. : **Utilizarea reactanţelor saturabile la reglarea fină a curentului în instalaţiile de elaborare a aluminiului.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 1, ian 198, p. 38
Se descriu principalele avantaje şi principiul de funcţionare ale transductoarelor magnetice utilizate în instalaţiile de elaborare a aluminiului.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof.dr. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HANGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; prof. dr. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor responsabil adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI
Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.337:629.43
ЭЛЕКТРОПРИВОД
РАМКА МЕТРО
Жунку, М., Вэдува, А., Хурезяну, Г.: **Приводимая рама метро ротационными асинхронными двигателями**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 1
Представляется новый привод рамки метро № 23 из Бухареста, вследствии заменения двигателя постоянного тока и кондиционного оборудования с ротационным синхронным двигателем и электронным управляющим и контрольным устройством. Кратко изложены схема-блок привода, схема-блок защитной цепи и автоматический контроль буферной цепи, электронная цепь смены коммутационного режима, трёхфазного инвертёра и в конце представлены истекающие диаграммы из программы измерений.

УДК 621.317.2 + 621.317.3
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
ПЕРЕХОДНОЕ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЕСЯ НАПРЯЖЕНИЕ
Раринка, О., Дефта, М.: **Устройство для определения переходного восстанавливающегося напряжения, предполагаемого в цепях испытания коммутационной мощности.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 5
Представленное устройство в настоящей статье основывается на методе инжекции тока промышленной частоты, оно является переносным и позволяет определение переходного восстанавливающегося напряжения на испытательном месте.

УДК 621.317.2
КОММУТАЦИОННЫЕ ИМПУЛЬСЫ
КАСКАДНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР
ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
Маринеску, А., Габер, Е., Филишяну, В.: **Устройство для образования коммутационных сверхнапряжений с каскадными испытательными трансформаторами.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 7
Представляются: устройство образования импульсов коммутационного напряжения с каскадойтрансформаторов, основанной на оптическом управлении и с питанием от батареи, нечувствительной к электромагнитным помехам; принцип работы схемы; технические детали в связи со способом осуществления оптического управления; конструкция статических контакторов и тестирование при электромагнитных помехах; питающий источник является на высоком потенцияле и т. д.

УДК 621.313.3
АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Попеску, Е., Тоаксен, Е., Сима, Ф.: **Особенности проектирования и изготовления асинхронных двигателей низкого напряжения при судостроении.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 12
Электродвигатели которыми оснащаются судна существенно отличаются от двигателей общего назначения, сколько с точки зрения рабочих параметров, только и по конструкции. Они должны быть приемистостыми, но надежными, имея в виду рабочий режим со специфическими вибрациями на судпах. В работе представляется совокупность вопросов проектирования имеющих в виду при разработке этих категорий двигателей, принимая во внимание, сколько расчётные особенности, только и специальные применяемые конструктивные решения.

УДК 621.333
ТЯГОВОЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР
Коман, М., Енеску, З., Коман, М.: **Новое поколение синхронных двигателей повышенного технического качества для железнодорожной тяги.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 14
Представляется новое поколение синхронных тяговых генераторов, приводимые в действие дизельными двигателями типа ALCO. Относительно старым машинам конструкцией моноблок, в этом случае вспомогательный генератор, синхронный возбужденный генератор и отбор мощности для привода в действие вентилятора на локомотиве находятся в расположении 120° на щите глаьного генератора, присоединенные при помощи зубчатых колёс.

УДК 621.313.3
СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ПЕРЕХОДНЫЙ РЕЖИМ
Ионеску, К., Митран, Д.: **О появляющих нагрузках синхронных двигателях высокого напряжения при присоединении питающих источников.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica** 36, № 1, январь 1988 г., с. 17
Представляется позволяющий метод нагрузку синхронных двигателей высокого напряжения при возможно появившегося максимальном отрицательном моменте, с целью принимания конструктивных решений, позволяющих повышение их надёжности.

УДК 621.333
ТЯГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ
Когиас, Х. и др.: **Новая серия двигателей постоянного тока для железнодорожной дизель-электрической тяги.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с 20
Работа представляет новую серию двигателей постоянного тока, мощностью 45, 165 и 235 кВт для оснащения произведенных в IEP-Крайова дизельных электровозов.

УДК 621.313.3
АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЭНД
Ионеску, К., Иоана, В., Прусаков, И.: **Соображения о поведении синхронных двигателей при повторных пусках.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 22
Представляются решения о осуществлении испытательного стенда для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при повторных пусках для повышения их надёжности.

УДК 519.6;621.316.54
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ (МЕХАНИЧЕСКОЕ, ФИЗИЧЕСКОЕ)
Хурдубециу С. и др.: **Расчётная программа для изучения электрического поля в опорном изоляторе гасительной камеры с промежуточным электродом (ELPOL).**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 25
В статье представляется структура расчётной цифровой программы, при помощи которой решаются указанные вопросы методом эквивалентных зарядах.
Гасительные камеры переключателей высокого напряжения с фарфорной покрышкой часто имеют электроды экранирования или промежуточный фланец, которых точное определение размеров делает необходимым познание их электрического потенциала и распределения электрического поля в смежных зонах в частмым трехмерном положении, при котором работает в практике.

УДК 681.332.3 + 681.3.06
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ
ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ
Догару, Д.: **Способствия проектирования и обработки печатных схем при помощи ЭВМ, используя собственные и собственно-профессиональные ЭВМ.**
Е.Е.А — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 28
В статье представляются сотвествующие увлечения в ИКСИТ-МТАЭ для использования некоторых программ графики 2Д с целью облегчения деятельности проектирования и изготовления печатных схем в условиях доступа к собственных микро-ЭВМ совместимыми с IBM-PC/XT.

УДК 681.317.79
ВРЕМЯ ОТВЕТА
ЭЛЕКТРОННОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ
Берчяну, Д.: **Устройство для проверки времени ответа усилителей и фильтров, используемых при устройстве электронного взвешивания**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с.

Представляется осуществление устройства для проверки времени ответа усилителей и фильтров, используемых при устройстве электронного взвешивания, принимая во внимание, что достижение (удар)-единичного импульса является невозможным механическим способом.

УДК 621.317.3
ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
ЦИФРОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ
Габер, Е.: **Определение периода квантования во времени для цифрового измерения активной мощности в периодическом режиме.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 34
Представляются расчётные зависимости минимальной величины периода квантования во времени, обеспечивающего точность измерения в случае сигналов с конечным частотным спектром и обсуждаются практические аспекты измерений при промышленной частоте.

УДК 621.375.2:621.318
МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ
КРИВАЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ
Титулеску, С., Неделкуц, Д., Оанцэ, Г.: **Использование насыщенных реакторов при точной настройке тока в установках разрабатывания алюминия.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 1, январь 1988 г., с. 38
Описываются главные преимущества и принцип работы употребляемых магнитных усилителей при установке разрабатывания алюминия .

INHALT

DK 621.337 :629.43
ELEKTRISCHER ANTRIEB
U-BAHN-WAGEN
Juncu, M., Văduva, Al., Hurezeanu, Gh. : **Mit Drehasynchronmotoren angetriebene U-Bahn-Wagens.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 1
Es wird der neue Antrieb für die U-Bahn-Wagens Nr. 23 aus Bukarest, nach dem Ersetzen des Gleichstrommotors und der konventionellen Ausrüstung mit einem Drehasynchronmotor und elektronischen Steuer- und Kontrollausrüstung vorgestellt. Es werden das Antriebs-Blockschema, das Blockschema für die Schutzschaltung und für die automatische Kontrolle des Zwischenstromkreises, des elektronischen Schemas zur Veränderung des Umschaltbetriebs, des Dreiphasen-Wechselrichters diskutiert und schliesslich, die durch die Messungen erhaltenen Diagramme vorgestellt.

DK 621.317.2+621.317.3
MESSANLAGEN
TRANSIENTE EINSCHWINGSPANNUNG
Rarinca, O., Defta, M. : **Anlage zur Bestimmung der in der Prüfstromkreisen des Schaltvermögens zu erwartenden transienten Einschwingspannung.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 5
Die in diesem Beitrag vorgestellte Anlage ist auf der Methode der Stromeinspritzung bei Industriefrequenz basiert, sie ist tragbar und erlaubt die Bestimmung der transienten Einschwingspannung direkt am Prüfort.

DK 621.317.2
UMSCHALTIMPULSE
KASKADENTRANSFORMATOREN
OPTOELEKTRONISCHE STEUERUNG
Marinescu, A., Gaber, E., Filişteanu, V. : **Anlage zur Erzeugung der Schaltüberspannungen mit Kaskaden-Prüftransformatoren.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36.** Nr. 1, Jan. 1988, S. 7
Es werden eine Anlage zur Erseugung der Schaltspannungsimpulsen mit Hilfe einer Transformatorenkaskade mit optischer Steuerung und Batterieeinspeisung, die unempfindlich gegen elektromagnetische Strörungen sind, das Funktionsprinzip des Schemas, technische Details bezüglich der Herstellung der optischen Steuerung, der statischen Schütze und der Prüfungen zu elektromagnetischen Störungen, der Einspeisequellen auf Hochpotential, u.s.w. vorgestellt.

DK 621.313.3
NIEDERSPANNUNGS-ASYNCHRONMOTOR
ENTWURF ELEKTRISCHER MOTOREN
Popescu, E., Toaxen, E., Sima, F. : **Entwurfs- und Herstellungseigenheiten der Niederspannungs-Asynchronmotoren für den Schiffsbau.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988 S. 12
Die im Schiffsbau verwendeten elektrischen Motoren sind grundverschieden von den Motoren allgemeiner Anwendung, sowohl bezüglich ihrer Funktionsparameter als auch ihrer Konstruktion. Sie müssen klein aber robust, unter Berücksichtigung der auf Schiffen spezifischen Schwingungs-Betriebsbedingungen sein. Im Beitrag werden die Entwurfsprobleme, die bei der Konzeption dieser Motorenkategorie, bezüglich sowohl der Berechnungseigenheiten als auch der angenommenen speziellen Konstruktionslösungen, berücksichtig wurden, aufgezeigt.

DK 621.333
TRAKTIONS-SYNCHRONGENERATOR
Coman, M., Enescu, Z., Coman, M. : **Eine neue Generation von Synchrongeneratoren mit hohen Performanzen zur Eisenbahntraktion.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 14
Es wird eine neue Generation von mit ALCO-Dieselmotoren angetriebenen Traktions-Synchrongeneratoren vorgestellt. Im Vergleich zu den herkömmlichen Maschinen in Monoblockausführung, sind hier der Zusatzgenerator, der Erregungsgenerator und der Leistungsabgriff zum Antrieb eines Ventillators auf der Lokomotive in einem Winkel von 120°, verbunden mit Zahnräden, auf dem Schild des Hauptgenerators angeordnet.

DK 621.313.3
HOCHSPANNUNGS-ASYNCHRONMOTOR
TRANSIENTER
Ionescu, C., Mitran, D.: **Uber die Belastungen die in den Hochspannungsasynchronmotoren beim Umschalten der Speisequellen auftreten.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan., 1988, S. 17
Es wird eine Methode vorgestellt, die die Belastung der Hochspannungs-Asynchronmotoren beim höchstmöglichsten negativen Drehmoment erlaubt, mit dem Ziel, konstruktive Lösungen zu finden, die ihre Zuverlässigkeit steigern.

DK 621.333
TRAKTIONSMOTOR
ELEKTRISCHE ISOLATION
Coghias, H. u.a. : **Die neue Gleichstrommotorenserie für dieselelektrische Bahntraktion.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 20
Im Beitrag wird eine neue Serie von Gleichstrommotoren mit Leistungen von 45, 165 und 235 kW, für die Ausrüstung der im IEP-Craiova hergestellten diesel-elektrischen Lokomotiven vorgestellt.

DK 621.313.3
ASYNCHRONMOTOR
PRUFSTAND
Ionescu, C., Ioana, V., Prusacov, N. : **Betrachtungen über das Verhalten der Asynchronmotoren beim wiederholten Anfahren.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 22
Es werden Herstellungsmöglichkeiten eines Prüfstandes für Asynchronmotoren mit Kurschlussläufer beim wiederholten Anfahren, zur Vergrösserung ihrer Zuverlässigkeit vorgestellt.

DK 519.6 :621.316.54
ELEKTRISCHES FELD
MODELLIEREN (MECHANIK, PHYSIK)
Hurdubeţiu, S. u.a. : **Rechenprogramm zur Studium des elektrischen Feldes im Isolationshalter der Löschkammer mit Zwischenelektrode (ELPOL).**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 25
Die Löschkammern der Hochspannungschalter mit Porzellanhülle haben häufig Abschirmelektroden oder Zwischenflansche, deren korrekte Dimensionierung, die Kenntnis ihrer elektrischen Potentiale und der Verteilung des elektrischen Feldes in den benachtbarten Zonen, in der eigenen dreidimensionellen Situation, in der sie in der Praxis funktionieren, voraus. Der Beitrag stellt die Struktur eines digitalen Rechenprogramms, das die obengenannten Probleme, mit Hilfe der Methode der äquivalenten Lasten löst, vor.

DK 681.332.3+681.3.06
UNTERSTUTZTES PROJEKTIEREN
2D-GRAPHIK AUF RECHNER
GEDRUCKTE SCHALTUNGEN
Dogaru, D. : **Möglichkeiten zur rechnergestützten Projektirung und Verarbeitung der gedruckten Schaltungen mit Hile von Personal- und Personal-Profesional-Microcomputern.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 28

Der Beitrag stellt die Bemühungen des ICSIT-MTAE zur Verwendung einiger 2D-Graphikprogramme zwecks Erleichterung des Entwurfs und der Herstellung von gedruckten Schaltungen, under den Bedingungen des Zugangs zu den IBM-PC/XT-Kompatiblen Personal-Microcomputern.

DK 681.317.79
ANTWORTSZEIT
ELEKTRONISCHES ABWEIGEN
Berceanu, D. : **Gerät zur Kontrolle der Antwortszeit der in dem elektronischen Abweigeeinrichtungen verwendeten Verstärkern und Filtern.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan. 1988, S. 32
Es wird die Herstellung eines Geräts zur Kontrolle der Antwortszeit der in den elektronischen Abwiegeeinrichtungen verwendeten Verstärkern und Filtern, da die Erzeugung eines (Stoss)-Treppen Impulses mit mechanischen Mitteln unmöglich ist.

DK 621.317.3
MESSEN DER WIRKLEISTUNG
DIGITALE MESSMETHODE
Gaber, E. : **Bestimmung der Entnahmeperiode zur digitalen Messung der Wirkleistung im periodischem Betrieb.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Jan., 1988, S. 34
Es werden die Gleichungen zur Berechnung des Minimalwertes der Entnahmeperiode gegeben, die die Messgenauigkeit im Fall der Signale mit finitem Frequenzspektrum gewährleisten und es werden praktische Aspekte der Messungen bei Industriefrequenz diskutiert.

DK 621.375.2. :621.318
MAGNETISCHER TRANSDUKTOR
MAGNETISIERUNGSKURVE
Tiulescu, S., Nedelcuț, D., Oanță, Gh. : **Verwendung der sättigbaren Reaktanzen bei der Feinregelung des Stromes in den Aluminiumherstellungsanlagen.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 1, Yan. 1988 S. 38
Es werden die hauptsächlichen Vorteile und das Funktionsprinzip der in den Aluminiumherstellungsanlagen verwendeten magnetischen Transduktoren beschrieben.

CONTENTS

DG 621.337.629.43
ELECTRIC DRIVE
TUBE FRAME
Juncu, M., Văduva, Al., Hurezeanu, Gh. : **Tube frame drived with rotary asynchronous motor.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 1, Ian. 1988, p. 1
A new drive for Bucharest no. 23 tube frame is presented, after replacing the d.c. motor and conventional-equipment with a rotary asynchronous motor and control and command electronic equipment. The driving block diagram for protection and automatic control circuit of the intermediate circuit, the electronic circuit for switching the commutation regime, the three-phase inverter are briefly treated, and diagrams resulted from measurement programme are finally presented.

DC 621.317.2 + 621.317.3
MEASURING EQUIPMENT
TRANSITORY RECOVERY VOLTAGE
Rarinca, O., Defta, M. : **Equipment for predicting transitory recovery voltage presumed in testing circuits for commutation capacity.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 5
The appliance described in this paper is based on the industrial frequency current injection method, is (trans) portable and allows prediction of transitory recovery voltage at testing place.

DC 621.317.2
COMMUTATION IMPULSES
CASCADED TRANSFORMERS
OPTOELECTRONIC COMMAND
Marinescu, A., Gaber, E., Filișeanu, V. : **Equipment for producing commutation supervoltage using cascaded transformers.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 1, Jan. 1988, p. 7
This paper presents : a new equipment for producing commutation impulses using a cascade of transformers based on command with battery supply, insensitive at electromagnetic perturbances ; operating principle of design ; technical details reffering to accomplishment of optical command ; development of static contactors design and testing of electromagnetic perturbances, testing of power supply at high potential etc.

DC 621.313.3
LOW VOLTAGE ASYNCHRONOUS MOTOR
ELECTRIC MOTORS DESIGN
Popescu, E., Toaxen, E., Sima, F. : **Design and construction characteristics (peculiarities) of low voltage asynchronous motors in ship building.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 1, Jan. 1988, p. 12
Electric motors of ships are considerably different from the generally application motors in their operational parameters as well as in their construction. Electric motors must be subtle but robust, when taking into account the normal operation with specific vibrations existing on ships. This paper presents the design characteristics taken into account in conceiving this kind of motors, emphasizing computation peculiarities as well as specificaly adapted constructive solutions.

DC 621.333
TRACTION SYNCHRONOUS GENERATOR
Coman, M., Enescu, Z. Comandă M. : **A new generation of high performance synchronous generators for railway traction.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 14
A new generation of traction synchronous generators with ALCO Diesel motors is presented.
Unlike the old monoblock construction of motors, at this new generation the auxiliary generator, the exciting synchronous generator and the power socket for driving a ventilator on locomotive are all disposed at 120° on the main generator shield, being coupled through gears.

DC 621.313.3.
HIGH VOLTAGE ASYNCHRONOUS MOTOR
TRANSITORY REGIME
Ionescu, C., Mitran, D. : **On stresses that appear in high voltage asynchronous motors when switching power suplies.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 17
A new method is presented that allows stressing high voltage asynchronous motors at maximum negative torque that may appear, in view of adopting new solutions for higher reliability.

TRACTION MOTOR
ELECTRIC INSULATION
Coghias, H. ș.a. :**The new series of d.c. motors for Diesel-electrical railway traction.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 20
This paper presents a new series of d.c. motors, of 45, 165 and 235 kW providing the Diesel-electrical locomotives made in IEP — Craiova.

ASUNCHRONOUS MOTOR
TESTING STAND
Ionescu, C., Ioana V., Prusacov, N. : **Considerations on behaviour of asynchronous motors at repeted starts.**
E.E.A. — **Electrotehnice 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 22
Solutions for carrying out a testing stand of asynchronous motors with short-circuit rotors at repeated starts, in view of increasing their reliability are presetend.

ELECTRIC FIELD
MODELING (Mechanics, Physics)
Hurdubețiu, S. ș.a. : **Computing programme for studying the electric field in the insulator-support of the (arc) blow-out chamber with intermediate electrode (ELPOL).**
E.E.A.—**Electrotehnica 36,** No. 1. Jan. 1988, p. 25
The blow-out chamber of high voltage interrupter with China anvelope oftenly exhibit shielding electrodes or intermediate flange, whose accurate sizing depends an their electric potential and on the electric field distribution on adjacent zones, in the particulate three-dimensional case in which they normally function. This particle presents the structure of a numerical computational programme that solves the above mentioned purposes using the equivalent load method.

DC 681.332.3 + 681.3-06
COMPUTER AIDED DESIGN
COMPUTERIZED TWO-DIMENSIONAL GRAPHICS
PRINTED CIRCUITS

Dogaru, D.: **Facilities for computer-aided design and processnig of printed circuits using personal and personal — professional microcomputers.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 28
This article depicts the present work from I.C.S.I.T. — M.T.A.E. regarding the usage of some two-dimensionanl graphic programmes intended to improve the design and construction activity in printed circuits, in conditions acceing IBM-PC/XT compatible personal microscomputers.

DC 681.317.79
RESPONSE TIME
ELECTRONIC BALANCE
Berceanu, D.: **Device for checking the response time of amplifiers and filters used in electronic balance equipment.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 32
The development of a new device for checking the response time of amplifiers and filters used in electronic balance equipment is presented, as producing a step pulse is not possible by mechanical means.

DC 621.317.3.
ACTIVE POWER MEASUREMENT
NUMERICAL MEASURING METHOD
Gaber, E.: **Sampling period determination for numerical measurement of active power in periodic regime.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 34
Data about minimal value of sampling period are given, that insures measuring accuracy for finite frequency spectrum signals. Practical aspects of industrial frequency measurements are also discussed.

DC 621.375.2 :621.318
MAGNETIC TRANSDUCER
MAGNETIZATION CURVE
Tiulescu, S., Nedelcuț D., Oanță, Gh.: **Saturable reactances usage in fine adjusting of current in aluminium smelting plants.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Jan. 1988, p. 38
Main advantages and operational principle of magnetic transducers used in aluminium smelting plants are described.

SOMMAIRE

CD 621.337 :629.43
ENTRAINEMENT ELECTRIQUE
RAME DE METRO
Juncu, N., Văduva, Al., Hurezeanu, Gh.: **Rame de métro entraînée par des moteurs asynchrones tournants.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No 1, Janv. 1988, p. 1
On présente un nouveau entraînement pour la rame de métro N 23 de Bucarest, à la suite du remplacement du moteur de c.c. et de l'équipement conventionnel par un moteur asynchrone tournant et un équipement électronique de commande et de contrôle. On traite brièvement du schéma-bloc d'entraînement, du circuit électronique de modification du régime de commutation, de l'onduleur triphasé et on présente finalement les diagrammes résultés du programme de mesurage.

CD 621.317.2 + 621.317.3
INSTALLATIONS DE MESURAGE
TENSION TRANSITOIRE DE RETABLISSEMENT
Rarinca, O., Defta, M.: **Installation pour la détermination de la tension transitoire de rétablissement présumée dans les circuits d'essai de la capacité de commutation.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 5
L'installation présentée dans cet ouvrage s'appuie sur la méthode de l'injection de courant de fréquence industrielle, elle est transportable et elle permet la détermination de la tension transitoire de rétablissement sur place, lors de la réalisation des essais.

CD 621.317.2
IMPULSIONS DE COMMUTATION
TRANSFORMATEURS EN CASCADE
COMMANDE OPTO-ELECTRONIQUE
Marinescu, A., Gaber, E., Filișeanu, V.: **Installation pour la production des surtensions de commutation à l'aide des transformateurs d'essai en cascade.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 7
On présente : une installation pour la génération des impulsions de tension de commutation par l'intermédiaire d'une cascade de transformateurs à commande optique et à alimentation par batteries, insensible aux perturbations électromagnétiques ; le principe de fonctionnement du schéma ; les détails techniques relatifs à la modalité de réalisation de la commande optique, à la construction des contacteurs statiques et aux essais sous l'action des perturbations magnétiques, à la source d'alimentation à un haut potentiel etc.

DC 621.313.3.
MOTEUR ASYNCHRONE DE BASSE TENSION
LA CONCEPTION DES MOTEURS ELECTRIQUES
Popescu, E., Toaxen E., Sima, F.: **Particularités de la conception et de l'execution des moteurs asynchrones de basse tension dans les constructions navales.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No 1, Janv. 1988, p. 12
Les moteurs électriques utilisés aux bords des navires présentent des différences essentielles par rapport aux moteurs à usage général, du point de vue des paramètres de fonctionnement, ainsi qu'en ce qui concerne la construction. Ils doivent avoir de la souplesse mais aussi de la robustesse, tout en tenant compte du régime de fonctionnement à vibrations caractéristique pour les navires. L'ouvrage présente l'ensemble des problèmes liés à la conception, dont on a tenu compte lors du développement de cette catégorie de moteurs, et qui visent les particularités de calcul, ainsi que les solutions constructives spéciales adoptées.

CD 621.333
GENERATEUR SYNCHRONE DE TRACTION
Coman, M., Enescu, Z., Coman, M.: **Une nouvelle génération de générateurs synchrones à performances hautes pour la traction ferroviaire.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 14
On présente une nouvelle génération de générateurs synchrones de traction, entraînés par des moteurs Diesel ALCO. Par rapport aux anciennes machines en construction monobloc, le générateur auxiliaire, le générateur synchrone d'excitation et la prise de puissance pour l'entraînement d'un ventilateur sur la locomotive se trouvent cette fois-ci emplacés à 120 sur le bouclier du générateur principal, couplés par des roues dentées.

CD 621.313.3
MOTEUR ASYNCRHRONE DE HAUTE TENSION
REGIME TRANSITOIRE
Ionescu, C., Mitran, D.: **Sur les contraintes qui surgissent dans les moteurs asynchrones de haute tension lors de la commutation des sources d'alimentation.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 17
On présente une méthode qui permet de solliciter les moteurs asynchrones de haute tension au couple maximal négatif qui puisse apparaître, en vue d'adopter des solutions constructives qui permettent l'accroissement de leur fiabilité.

CD 621.333
MOTEUR DE TRACTION
ISOLATION ELECTRIQUE
Coghiaș, H. et al.: **La nouvelle série de moteurs de c.c. pour la traction ferroviaire Diesel-électrique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 20
L'ouvrage traite d'une nouvelle série de moteurs de c.c., à puissance de 45, 165 et 235 kW, pour l'équipement des locomotives Diesel-électriques fabriquées à IEP — Craiova.

CD 621.313.3
MOTEUR ASÂNCHRONE
STAND D'ESSAI
Ionescu, C., Ioana, V., Prusacov, N.: **Considérations le comportement des moteurs asynchrones à des misesen marche répétées.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36.** No. 1, Janv. 1988, p. 22
On présente des solutions pour la réalisation d'un stand pour l'essai des moteurs asynchrones à rotor en court-circuit à des mises en marche répétées, en vue de l'accroissement de leur fiabilité.

CD 519.6 :621.316.54
CHAMP ELECTRIQUE
MODELISATION (MECANIQUE, PHYSIQUE)
Hurdubețiu, S. et. al.: **Programme de calcul pour l'étude du champ électrique dans l'isolateur-support du boîtier d'arc à électrode du milieu (ELPOL).**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 25
Les boîtiers d'arc des interrupteurs de haute tension à enveloppe en porcelaine comportent souvent des électrodes d'écranage ou des brides du milieu, dont le dimensionnement correct impose la connaissance de leurs potentiels électriques et de la répartition du champ électrique dans les zones adjacentes, étant donné la situation tridimensionnelle particu-

lière qui caractérise leur fonctionnement effectif. L'article présente la structure d'un programme de calcul numérique qué résout les objectifs mentionnés, tout en utilisant la méthoide des charges équivalentes.

CD 681.332.3+681.3.06
CONCEPTION ASSISTEE
GRAPHIQUE 2D SUR ORDINATEUR
Dogaru, D. : **Facilités pour la conception et le traitement assisté des circuits imprimés à l'aide des micro-ordinateurs personnels et personnels-professionnels.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 28
L'article présente les préoccupations existentes à I.C.S.I.T. — M.T.A.E. en ce qui concerne l'utilisation des programmes de graphique 2D en vue de faciliter l'activité de conception et de réalisation des circuits imprimés, lorsqu'il est possible d'accéder aux micro-ordinateurs personnels compatibles IBM—PC/XT.

CD 681.317.79
TEMPS DE REPONSE
PESAGE ELECTRONIQUE
Berceanu, D. : **Dispositif pour la vérification du temps de réponse des amplificateurs et des filtres utilisés dans les installations de pesage électroique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 32
On présente la réalisation d'un dispositif pour la vérification du temps de réponse des amplificateurs et des filtres utilisés dans les installations de pesage électronique, étant donné le fait que la réalisation d'une impulsion (choc) — palier n'est pas possible par les moyens mécaniques.

CD 621.317.3
MESURAGE DE LA PUISSANCE ACTIVE
METHODE NUMERIQUE DE MESURAGE
Gabe , E. : **La détermination de la période d'échantillonnage pour le mesurage numérique de la puissance active en régime périodique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 34
On fournit les relations de calcul de la valeur minimale de la période d'échantillonnage qui assure la précision du mesurage dans le cas des signaux à s pectre de fréquence fini et on discute les aspects pratiques des mesurages en fréquence industrielle.

CD 621.375.2 :621.318
TRANSDUCTEUR MAGNETIQUE
COURBE DE MAGNETISATION
Tiulescu, S., Nedelcuţ, D., Oanţă, Gh. : **L'utilisation des réactances saturables dans le réglage de précision du courant dans les installations d'élaboration de l'aluminium.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 1, Janv. 1988, p. 38
On décrit les avantages et le principe de fonctionnement des transducteurs magnétiques utilisés dans les installations pour l'élaboration de l'aluminium.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA" (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) Bucureşti. Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM" — departamentul export — import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea Poligrafică „Informaţia"
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1760

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 1

CZ 621.337 :629.43

ACŢIONARE ELECTRICĂ
RAMA DE METRO

Ramă de metro acţionată cu motoare asincrone rotative

MIHAI JUNCU, ALEXANDRU VĂDUVA, GHEORGHE HUREZEANU* – CRAIOVA

Introducere

Anul 1986 a marcat pentru ICSIT-MTAE Craiova o realizare în premieră naţională — încheierea cu succes a probelor cu rama de metro nr. 23. Această ramă a fost modificată pentru integrarea noului echipament tiristorizat, necesar acţionării cu motoare asincrone rotative.

Realizarea unei asemenea acţionări a avut la bază preocupările în domeniul tracţiunii neconvenţionale ale institutului nostru, desfăşurate pe parcursul a mai multor ani de studii şi încercări, în colaborare cu institutele politehnice din Timişoara şi Iaşi şi cu sprijinul nemijlocit al întreprinderii „Electroputere" — Craiova. Rezultatele acestei activităţi s-au materializat prin realizarea vehiculului experimental ML-02, a vehiculului ROM-U-LIM-01, destinat transportului urban (ambele acţionate cu motoare liniare asincrone) şi în prezent ramă de metro.

Convertizorul folosit pe rama de metro are la bază convertizorul de 800 kVA care a echipat vehiculul ROM-U-LIM-01.

1. Schema de acţionare

Pentru acţionare s-a folosit un invertor de tensiune. În figura 1 sînt prezentate blocurile funcţionale ale acestei acţionări.

Semnificaţia notaţiilor este următoarea: IUR — întrerupător ultrarapid: R+MTU — ansamblu rezistenţă + MTU pentru încărcare CF; Sc — scurtcircuitor; TV — traductor de viteză; BVC — bloc control viteză; BCF — bloc control curent; BTC — bloc traductor tensiune condensator de stingere; GT — generator tact; CTF — convertor tensiune—frecvenţă; BD — bloc decalare distribuire; BPI — bloc protecţii interblocaje; BCU — bloc control tensiune; PEV — programator electronic de viteză.

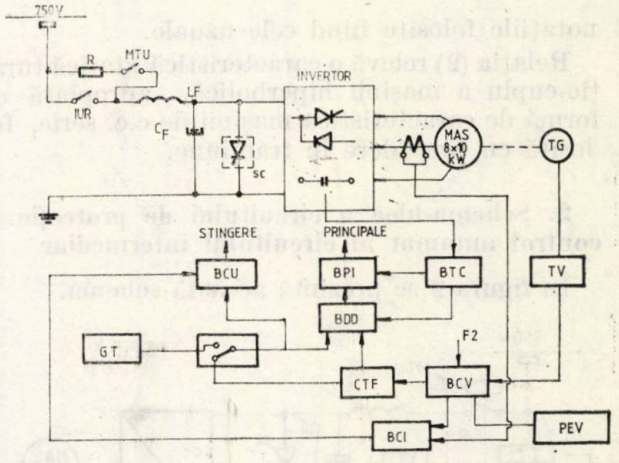


Fig. 1. Schema-bloc de acţionare a ramei de metro cu motoare asincrone.

Invertorul are următoarele caracteristici:

- tensiunea de alimentare ... 825 V+10%;
- curent maxim de ieşire pe fază ... 1 200 A;
- domeniul de modificare a tensinii ... 60—600 V;
- domeniul de modificare a frecvenţei ... 1—150 Hz;
- frecvenţa de pulsaţie ... 50 Hz.

Cele patru boghiuri ale ramei au fost echipate cu motoare de tipul MAB-T1 fabricate de Intreprinderea „Electroputere", realizîndu-se antrenarea separată a fiecărei osii. Motoarele au următoarele date nominale:

- putere nominală ... 70 kW;
- tensiune nominală ... 560 V;
- curent nominal ... 90 A;
- turaţie nominală ... 1170 rot/min;
- frecvenţă nominală ... 60 Hz.

Raportul de transmisie al reductorului a fost păstrat, fiind de 43/8 la un diametru al roţii, în stare nouă, de 910 mm.

* ICSIT — MTAE — Craiova

Principiul reglării vitezei are la bază prescrierea frecvenţei în indus :

$$f_2 = sf_1 = f_1 - \frac{pn}{60} = \text{constant.} \qquad (1)$$

Expresia cuplului în aceste condiţii devine :

$$M = p \cdot \frac{m_1 n_1^2}{2\pi f_2} \times$$

$$\times \frac{R_2'}{\left[R_1 + C_1 R_1' \left(\frac{np}{60 f_2} + 1\right)\right]^2 + (x_1 + c_1 x_1')^2}, \qquad (2)$$

notaţiile folosite fiind cele uzuale.

Relaţia (2) relevă o caracteristică statică turaţie-cuplu a maşinii hiperbolică, apropiată ca formă de caracteristica maşinii de c.c. serie, folosită cu precădere în tracţiune.

2. Schema-bloc a circuitului de protecţie şi control automat al circuitului intermediar

În figura 2 se prezintă această schemă.

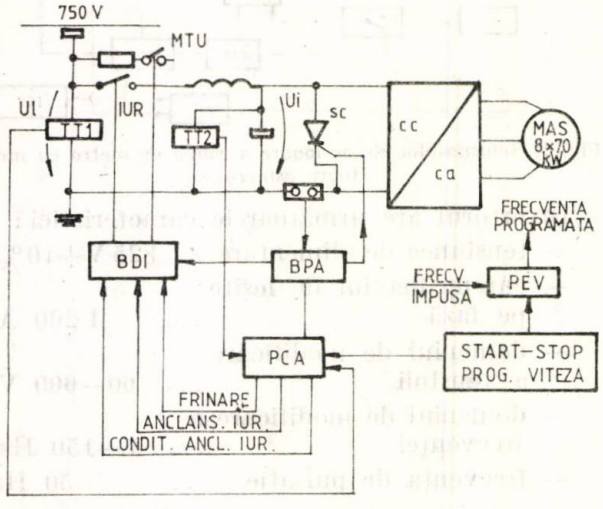


Fig. 2. Schema-bloc a circuitului de protecţie.

Semnificaţia notaţiilor folosite : *TT* — traductor de tensiune ; *BDI* — bloc distribuire-interconectare ; *BCA* — bloc comandă automatizare ; *BPA* — bloc protecţie avarie ; *PEV* — programator electronic de viteză.

Dacă nu există tensiune de linie *U*1, *IUR* nu poate fi anclanşat. Dacă există *U*1, dar tensiunea pe invertor *Ui* este mai mică decît 80 % din *U*1, comanda manuală ANCLANSARE *IUR* este în continuare blocată.

Existînd *U*1, prin apăsarea START-STOP se produce prin *BPA* iniţializarea *IUR* şi cuplarea *MTU*. Bateria *Cf* primeşte curent de încărcare, iar în momentul în care *Ui* depăşeşte 80 % din *U*1, închiderea *IUR* se comandă automat.

Apariţia unei zone fără tensiune de alimentare cu invertorul cuplat provoacă scăderea tensiunii *Ui* şi sub un anumit prag se comandă automat STOP INVERTOR şi DECLANSARE *IUR*. La revenirea tensiunii fără ca între timp să se fi comandat manual DECUPLARE *IUR*, în mod automat se comandă reîncărcarea *Cf* şi recuplare *IUR*.

În orice situaţie de avarie în invertor se comandă DECUPLARE *IUR* şi se dă un semnal numit PROTECŢIE TOTALĂ, care scurtcircuitează *Ui* prin *Sc*, pentru a limita curentul de avarie prin tiristoarele aflate în conducţie de avarie sub limita de distrugere.

3. Circuitul pentru schimbarea regimului de comutaţie

Comanda de tensiune a invertorului se face prin chopparea tensiunii *Ui* la intrarea invertorului în perioadele aferente fazelor tensiunii de ieşire. Frevenţa de choppare, la care lucrează circuitele de comutaţie, este de dorit să fie cît mai mare în raport cu frecvenţa de ieşire, pentru a realiza o comandă a tensiunii fără distorsiuni între faze şi pentru a reduce, pe de altă parte, armonicile cele mai deranjante pentru motor (5, 7,11). Această frecvenţă este limitată datorită încălzirilor provocate în circuitele de stingere. Un alt aspect la fel de important îl constituie regimul de lucru al convertizorului în tot domeniul de frecvenţă necesar a se realiza la ieşire. Pentru prima fază de încercări s-a optat pentru o soluţie mai simplă descrisă în continuare (fig. 3).

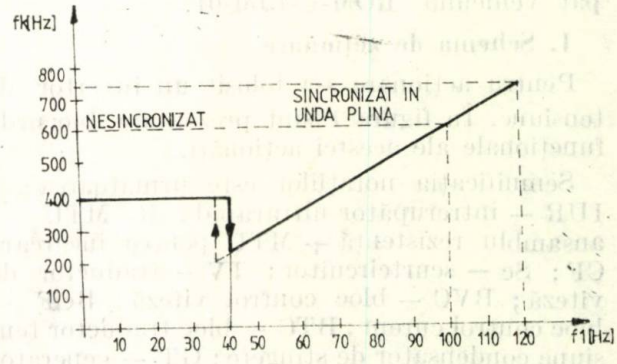


Fig. 3. Variaţia frecvenţei de comutaţie în raport cu frecvenţa la ieşire.

Pentru REGIM NESINCRONIZAT frecvenţa de comutaţie *fk* este nesincronizată în raport cu frecvenţa de ieşire *f*1.

În figura 4 se prezintă diagrama tensiunilor la ieşire pentru o frecvenţă *fk* de 400 Hz.

În figură se observă perioadele de conducție de 120°. Pe durata acestor intervale orice început de puls se transformă într-un puls complet, deoarece din considerente de comutație bine stabilite nu se practică întreruperea ultimului puls la sfîrșitul intervalului de 120°. Ca urmare, regimul devine puternic deformant la frecvențe mai mari de 40 Hz (3—4 pulsuri la 35 Hz, 2—3 pulsuri la 53 Hz).

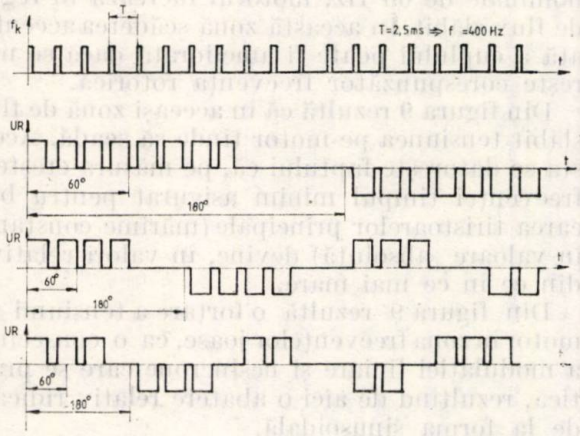


Fig. 4. Forma tensiunii la ieșire în funcție de frecvența pentru regim nesincronizat : a) $f_1 = 18$ Hz ; b) $f_1 = 35$ Hz ; c) $f_1 = 53$ Hz.

1 are ieșirea „0". Ca urmare poarta *8* este inhibată și *7* este validată, astfel ca impulsurile *fk*

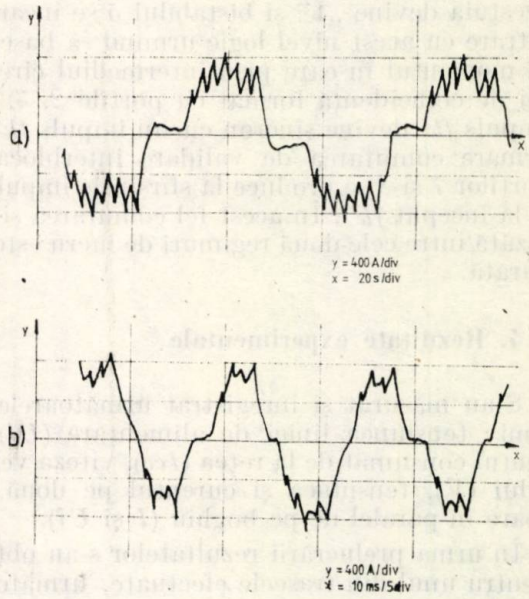


Fig. 5. Curentul la ieșire (patru motoare în paralel) : a) $f_1 = 9$ Hz ; b) $f_1 = 35$ Hz.

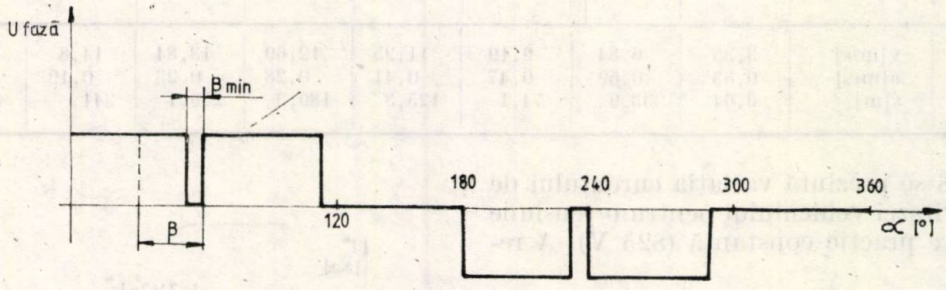


Fig. 6. Forma tensiunii la ieșire pentru regim sincronizat.

Oscilograma curentului la ieșire pentru două frecvențe diferite se poate urmări în figura 5.

Pentru REGIM SINCRONIZAT cu două pulsuri, fiecare fază este formată pe fiecare din cele două polarități de două pulsuri egale și perfect sincrone cu frecvența la ieșire (fig. 6).

Modificarea tensiunii la ieșire se face simplu prin modificarea unghiului β. Este necesar să se asigure un β minim pentru refacerea capacității de blocare în sens direct a tiristorului stins.

Pentru trecerea de la un regim la celălalt trebuie să se aștepte pînă cînd impulsurile pentru cele două regimuri devin sincrone, ceea ce, la frecvențe de sute de Hz, înseamnă un timp de maximum zeci de ms. În continuare se prezintă schema realizată și experimentată pe rama 23 de metro (fig. 7).

În intervalul (0—40) Hz ieșirea bistabilului *5* de tip *D* este „0" logic deoarece comparatorul

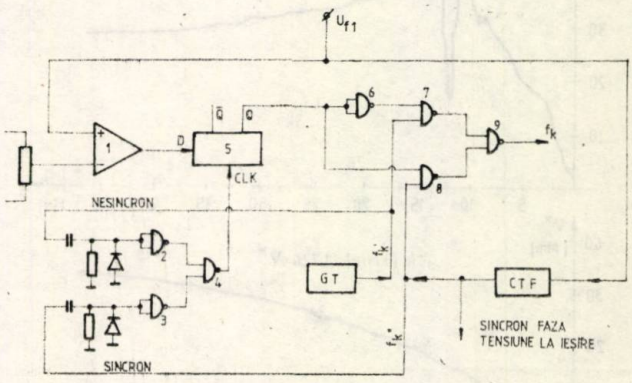


Fig. 7. Schema circuitului de comutație

ale generatorului de tact *GT* se regăsesc la ieșirea porții *9*.

Dacă la intrarea plus a comparatorului, tensiunea Ufi cu care se comandă convertorul tensiune-frecvență (CTF) depășește nivelul la care frecvența la ieșire are nivelul 40 Hz, la ieșirea acestuia devine „1" și bistabilul *5* se încarcă la intrare cu acest nivel logic urmînd să basculeze în momentul în care prin intermediul circuitului de coincidență format cu porțile *2*, *3*, *4* un impuls fk' devine sincron cu un impuls fk''. Ca urmare comutarea de validare interblocată a porților *7* și *8* se produce la sfîrșit de impuls fk' și la început fk''. În acest fel comutarea sincronizată între cele două regimuri de lucru este asigurată.

4. Rezultate experimentale

S-au măsurat și înregistrat următoarele mărimi: tensiunea liniei de alimentare (Ui), curentul consumat de la rețea (Icc), viteza vehiculului (V), tensiunea și curentul pe două motoare în paralel de pe boghiu (I și Ui).

În urma prelucrării rezultatelor s-au obținut, pentru unul din traseele efectuate, următoarele rezultate (tab. 1).

zultat, pentru acest caz, un consum specific de 78 Wh/tkm, în condițiile în care nu s-a frînat recuperativ.

Din figură se distinge zona de trecere de la regim nesincronizat la regim sincronizat, marcată printr-o scădere a curentului. S-a recurs la micșorarea tensiunii pe motor pe perioada comutației pentru evitarea șocurilor de curent care pot să premeargă acestei treceri. Peste viteza de 33 km/h, corespunzătoare frecvenței nominale de 60 Hz, motorul lucrează în regim de flux slăbit. În această zonă scăderea accentuată a cuplului poate fi ameliorată dacă se mărește corespunzător frecvența rotorică.

Din figura 9 rezultă că în aceeași zonă de flux slăbit tensiunea pe motor tinde să scadă. Aceasta se datorește faptului că, pe măsura creșterii frecvenței timpul minim asigurat pentru blocarea tiristoarelor principale (mărime constantă în valoare absolută) devine, în valori relative, din ce în ce mai mare.

Din figura 9 rezultă o forțare a tensiunii pe motor în zona frecvențelor joase, ca o consecință a modulației liniare și nesincrone care se practică, rezultînd de aici o abatere relativ ridicată de la forma sinusoidală.

Tabelul 1

	t [s]	4	9	14	19	14	29	34	39	44,5
Tabel 1	v[m/s]	3,35	6,84	9,19	11,25	12,69	13,84	14,8	15,32	15,95
70,98	a[m/s]	0,83	0,69	0,47	0,41	0,28	0,23	0,19	0,12	50,10
Wh/tkm	s[m]	6,64	33,9	74,1	125,3	189,3	259,1	341	419	19,6

În figura 8 se prezintă variația curentului de intrare și a vitezei vehiculului pentru o tensiune de alimentare practic constantă (825 V). A re-

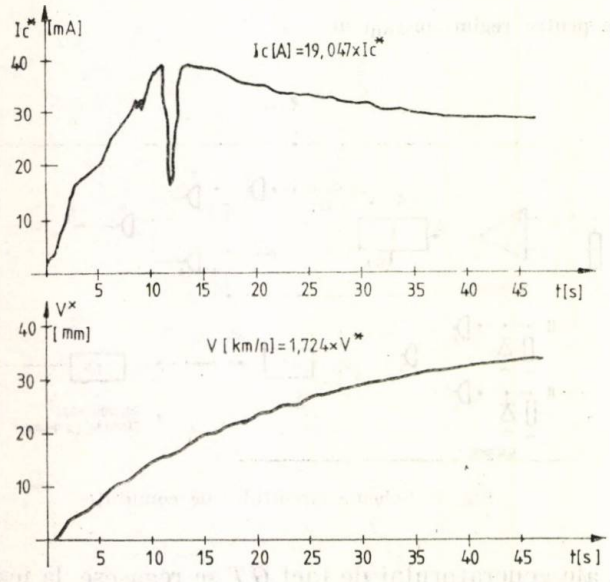


Fig. 8. Variația curentului de intrare și a vitezei vehiculului.

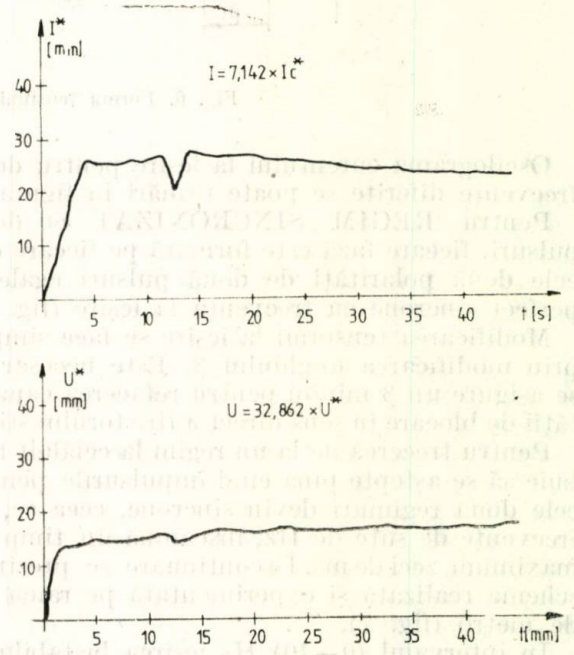


Fig. 9. Variația tensiunii și a curentului pe motoare.

De asemenea, în zona de flux slăbit, β min, mărime constantă în valoare absolută, pe măsura creşterii frecvenţei, devine, în valori relative, din ce în ce mai mare, micşorînd astfel durata relativă de conectare a tiristoarelor şi implicit tensiunea pe motor.

Pe de altă parte, curentul în maşină se menţine aproximativ constant datorită comenzii electronice de mărire a frecvenţei rotorice, rezultînd de aici o solicitare a invertorului aproximativ constantă la o putere cît mai apropiată de puterea sa maximă.

5. Concluzii

Convertizorul de 800 kVA al vehiculului ROM-U-LIM-01, nu acoperă necesităţile de putere ale unei rame de metro în varianta constructivă actuală. Cu toate acestea probele efectuate au permis evaluări cantitative şi calitative importante care vor uşura proiectarea şi execuţia prototipului de ramă de metro cu motoare asincrone rotative cu rotorul în scurtcircuit.

În etapa imediat următoare se va proceda la modificarea comenzii invertorului pentru modularea sinusoidală a tensiunii la ieşire şi reglarea maşinii după metoda transvektor, ceea ce va îmbunătăţi substanţial randamentul global al acţionării.

Bibliografie

[1] *Boldea, I., Juncu, M., Hauler, E.* ş.a., ROM-U-LIM-01 - prototipul unui metrou aerian cu motor liniar de inducţie. Lucrările Sesiunii jubiliare ICPE, 1981.

[2] *Juncu, M., Hauler, E., Văduva, Alex.* Aspecte privind comportarea în tracţiune a motorului asincron liniar al vehiculului ROM-U-LIM-01 alimentat de la invertorul de tensiune, SIMEX' 85.

[3] *Kratz, G.*, Der Drehstrom — Asynchronmotor als neur Fahrmotor fur die Berliner U-Bahn, Der Stadtvekehr 22 (1977), S. 83—87.

CZ 621.317.2+621.317.3

INSTALAŢII DE MĂSURĂ
TENSIUNE TRANZITORIE DE RESTABILIRE

Instalaţie pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire prezumate în circuitele de încercare a capacităţii de comutaţie

OVIDIU RARINCA, MIHAIL DEFTA* — CRAIOVA

Instalaţia pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire prezumată în circuitele de încercare a capacităţii de comutaţie a aparatului de înaltă tensiune se bazează pe metoda injecţiei de curent de frecvenţă industrială [1].

În [1] mai este indicată şi metoda injecţiei de curent, obţinut prin descărcarea unui condensator, în prealabil încărcat pe circuitul de încercat. Aceste metode permit construcţia unor instalaţii uşor transportabile la locul unde se determină tensiunea tranzitorie de restabilire şi conţin componente relativ simple. Faţă de metoda prezentată în [1] metoda injecţiei de curent de frecvenţă industrială prezintă avantajul că permite determinarea mai corectă a parametrilor tensiunii tranzitorii de restabilire.

Schema de principiu, a instalaţiei, bazată pe metoda injecţiei de curent de frecvenţă industrială, este redată în figura 1.

Conform acestei figuri tensiunea livrată de un transformator de reţea *Tr* este aplicată unei bobine *L* limitatoare de curent, unei diode *D* de comutaţie rapidă, ce este montată în paralel cu contactele normal deschise 1*R* ale unui releu *R*, unui circuit de încercat *CP* şi unui şunt *S*. Pe perioada pozitivă a tensiunii, dioda *D* conduce, făcînd ca un circuit de comandă *CC* să acţioneze releul *I* cu timp de acţionare sub 2 000 μs., ale cărui contacte vor scurtcircuita dioda *D*. După un interval de timp de aproximativ 800 ms circuitul de comandă va dezacţiona releul *R* ale cărui contacte 1*R* se vor deschide la aproximativ 2 ms după trecerea prin zero a semialternanţei pozitive a curentului de injecţie. La următoarea alternanţă negativă a curentului de injecţie dioda *D* se va bloca şi va

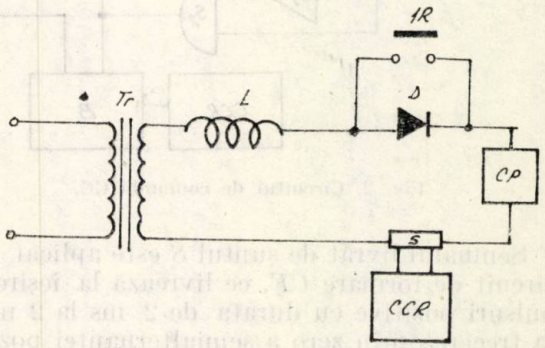


Fig. 1. Schema de principiu a instalaţiei bazată pe metoda injecţiei de curent de frecvenţă inustrială.

* ICSIT—MTAE — Craiova.

apărea tensiunea tranzitorie de restabilire pe circuitul *CP*. La apariţia semialternanţei pozitive a tensiunii dată de transformatorul *Wr* dioda va conduce reluînd ciclul.

Instalaţia pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire realizată are un transformator de reţea *Wr* ce livrează la ieşire o tensiune de 50 V la un curent de maximum 6 A, dispunînd şi de două înfăşurări suplimentare ce alimentează circuitul de comandă. Bobina de limitare *L*, fără miez de fier, are o valoare de 26 mH, permiţînd trecerea unui curent de maximum 6 A, iar dioda *D* de comutaţie rapidă este de tip ESM 243400 cu următorii parametri : $Id = 60A$; U inv $= 400$ A; $t = 100$ ns. Pentru scurtcircuitarea diodei *D* sînt utilizate două contacte normal deschise, legate în paralel, a două relee ce au bobinele de acţionare, de asemenea legate în paralel, de tip *RU* 613112, cu următorii parametri : tensiunea nominală 12V; curentul maxim de rupere 3 A; timp de acţionare sub 2 ms. Şuntul *S* are o valoare de 0,7ohmi şi o bandă de frecvenţă de 100 kHz.

Circuitul de comandă *CC* este reprezentat în figura 2.

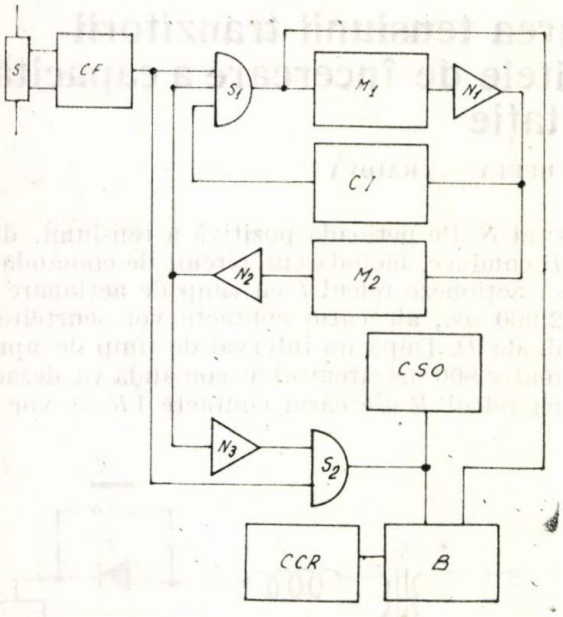


Fig. 2. Circuitul de comandă CC.

Semnalul livrat de şuntul *S* este aplicat unui circuit de formare *CF*, ce livrează la ieşire impulsuri pozitive cu durata de 2 ms la 2 ms de la trecerea prin zero a semialternanţei pozitive a curentului de injecţie

Monostabilele *M* 1 şi *M* 2 — fiind în starea zero, un impuls de la circuitul de formare *CF* va trece de circuit şi de *S* 1, comutînd monostabilul *M* 1 şi bistabilul *B*, acesta acţionînd circuitul de comandă a releelor *CCR*, ce va face să se închidă contactele relcelor.

Monostabilul *M*1, comutînd din starea zero în starea unu, circuitul nu *N* 1, va trece în starea zero, care se transmite la intrarea circuitului şi *S*1, prin circuitul de întîrziere *CI*, blocînd trecerea impulsurilor de la circuitul *CF* prin circuit şi *S* 1.

După aproximativ 800 ms monostabilul *M* 1 va trece din starea unu în starea zero, comutînd monostabilul *M*2 în starea unu a cărei durată este egală cu perioada curentului de injecţie şi circuitul nu *N*2 în starea zero, iar circuitul nu *N*3 în starea unu.

La apariţia unui impuls de la circuitul de formare *CF*, acesta va trece prin poarta şi *S*2 producînd declanşarea circuitului de sincronizare a osciloscopului *CSO* şi comutarea bistabilului *B*, care va acţiona circuitul de comandă a releelor *CCR*, ce va face să se deschidă contactele releelor. La revenirea monostabilului *M* 2 din starea unu în starea zero se permite reluarea ciclului.

Instalaţia universală pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire, prezumată în circuitele de încercare a capacităţii de comutaţie, a fost realizată în Laboratorul de Mare Putere şi este prezentată în figura 3. Ea este

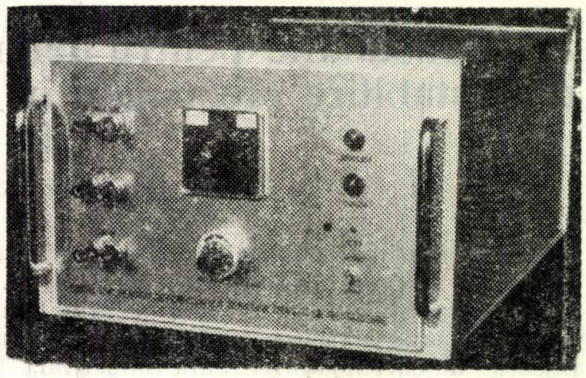


Fig. 3. Instalaţia universală pentru determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire, prezumată în circuitele de încercare a capacităţii de comutaţie.

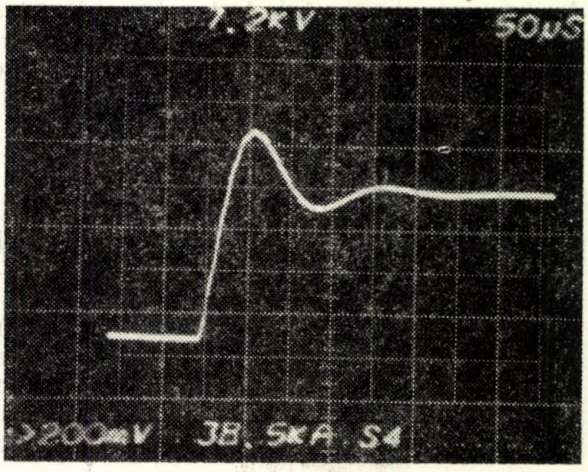


Fig. 4. Oscilograma tensiunii tranzitorii de restabilire prezumată la proba de scurtcircuit brusc a unui întreruptor.

utilizată pentru măsurarea parametrilor tensiunii tranzitorii de restabilire, la probele de comutație a aparatajului de înaltă tensiune și, în special, în cazurile cînd circuitul de forță are un cos φ mare (peste 0,3, de exemplu încercarea siguranțelor în secvența 3).

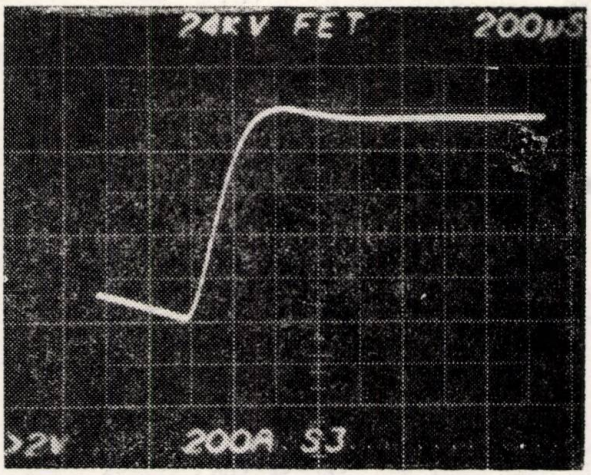


Fig. 5. Oscilograma tensiunii tranzitorii de restabilire prezumată la încercarea unei siguranțe.

Astfel în figura 4 este reprezentată ocilograsma tensiunii tranzitorii de restabilire, prezumată la proba de scurtcircuit brusc a unui întreruptor care a fost încercat la o tensiune de 7,2 kV și un curent de 38,5 kA, iar în figura 5 este reprezentată oscilograma tensiunii tranzitorii de restabilire, prezumată la încercarea unei siguranțe în secvența 3, la 24 kV și 200 A.

Gabaritul acestei instalații a permis determinări ale tensiunii tranzitorii de restabilire, prezumată atît în cadrul laboratorului, cît și în centralele electrice. Rezultatele obținute au fost confirmate de măsurătorile TTR ce apar la probele de comutație efectuate pe parcursul a doi ani de utilizare.

Bibliografie

[1] Publicația CEI — 56 — 4, anexa E Ediția a III-a, 1973.
[2] *Goldenberg, L. M.* Teoria și calculul circuitului de impulsuri, București, Editura Tehnică 1972.
[3] *Kalantarov, P.L.* Calculul inductanțelor București Editura Tehnică 1958.

CZ 621.317.2

IMPULSURI DE COMUTAȚIE
TRANSFORMATOARE ÎN CASCADĂ
COMANDĂ OPTOELECTRONICĂ

Instalație pentru producerea supratensiunilor de comutație cu transformatoare de încercare în cascadă

ANDREI MARINESCU, EMIL GABER, VALERIU FILIȘEANU* — CRAIOVA

Introducere

Cea mai răspîndită tehnică de simulare în laborator a impulsurilor de tensiune de comutație (ITC), de tip oscilant-amortizat, se bazează pe descărcarea bruscă în primarul unui transformator de încercare a unei baterii de condensatoare în prealabil încărcate [1, 2]. Întrucît în majoritatea cazurilor sînt necesare tensiuni mari se utilizează legarea în cascadă, la care descărcarea condensatorului-acumulator se face fie în primarul primului transformator al cascadei, metoda circuitului de descărcare unic (CDU), fie că se folosesc mai multe condensatoare-acumulator, care se descarcă simultan pe fiecare transformator al cascadei, utilizînd în acest scop înfășurările primare sau înfășurările de transfer ale fiecărui transformator. Această ultimă metodă de producere a ITC, metoda circuitului de descărcare multiplu (CDM), are avantaje importante în raport cu prima, în ceea ce privește forma și repartiția tensiunilor parțiale atît la funcționarea în gol, cît și la străpungerea obiectului de încercat [1], dar utilizarea sa a fost limitată pînă acum, datorită dificultăților legate de montarea, alimentarea și descărcarea sincronă a condensatoarelor aflate la potențial înalt.

În această lucrare se descrie o variantă economică a tehnicii CDM care, în stadiul actual al tehnicii, a fost realizată utilizînd componente standard pentru comandă optoelectronică și comutație statică.

1. Varianta economică a CDM

Este prezentată prin schema echivalentă din figura 1, valabilă pentru $n = 4$ la frecvențele înalte din spectrul ITC simulate.

Ea constă în utilizarea unui singur condensator-acumulator la o pereche de transformatoare în cascadă. În aceste condiții, la o cascadă formată din n transformatoare sînt necesare $n/2$ circuite de alimentare și descărcare, dacă n este par și $(n + 1)/2$ circuite, dacă n este impar.

* ICSIT—MTAE — Craiova

Fiecare etaj al cascadei se consideră un transformator monofazat cu trei înfășurări, reprezentate prin cele trei inductivități echivalente L_{s1}, L_{s2}, L_{s3}, iar conexiunea în cascadă se realizează prin transformatoarele ideale TI cu raport de transformare unitar [3].

— stabilitate la perturbații electromagnetice intense, caracteristice laboratorului de înaltă tensiune;

— sincronizarea generării impulsului ITC în raport cu alte generatoare de impulsuri, existente în laborator.

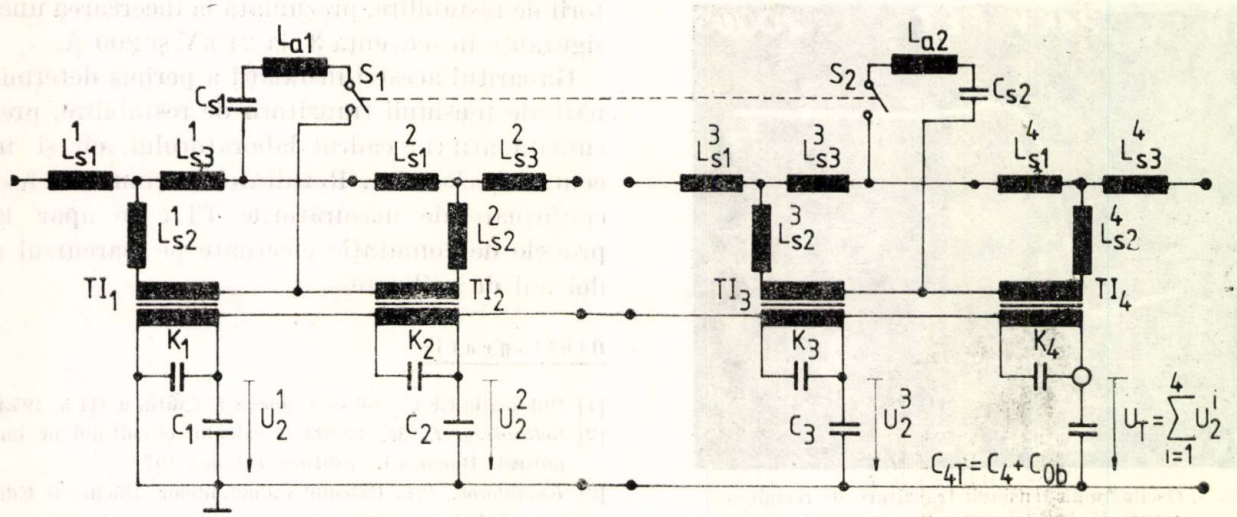


Fig. 1. Schema echivalentă a unei cascade de transformatoare echipate pentru producerea ITC prin metoda circuitului de descărcare multiplu (CDM).

Capacitățile $C_1 \ldots C_4$ sînt capacitățile față de pămînt ale trasnformatoarelor cascadei, ultima capacitate, notată C_4, include capacitatea divizorului de tensiune și a obiectului de încercat, iar capacitățile $K_1 \ldots K_4$ reprezintă capacitățile echivalente concentrate (dinamice), corespunzătoare capacităților (longitudinale și transversale) ale transformatoarelor cascadei.

Fiecare pereche de etaje dispune de un circuit de alimentare, format dintr-un condensator-acumulator C_s, o inductivitate L_a pentru reglarea frecvenței oscilațiilor și un comutator S.

Prin modul de amplasare, capacitățile C_s trebuie încărcate de la surse independente, izolate față de pămînt, iar comutatoarele S trebuie, de asemenea, comandate simultan de la potențialul pămîntului, printr-un mijloc oarecare.

La funcționarea corectă a instalației, tensiunile parțiale U_2^i pe fiecare etaj al cascadei au practic aceeași formă și aceeași amplitudine, spre deosebire de cazul tehnicii CDU.

Un sistem de alimentare și comandă, eficient pentru producerea ITC pe principiul expus, trebuie să îndeplinească anumite condiții tehnice, în afara unui preț de cost cît mai redus, și anume:

— încărcarea controlată a capacităților C_s inclusiv pornirea și oprirea încărcării;

— comanda sigură și simultană a comutatoarelor S;

2. Descrierea schemei de comandă optică

Soluția adoptată este prezentată în schema-bloc din figura 2 pentru aceeași cascadă cu $n=4$. Circuitele de descărcare sînt dispuse în două grupe identice, aflate la potențialele punctelor mediane ale etajelor 1,2 respectiv 3,4.

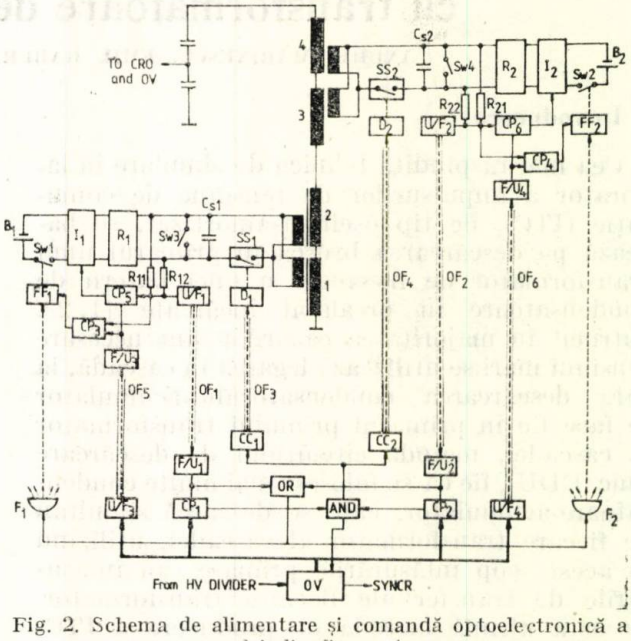


Fig. 2. Schema de alimentare și comandă optoelectronică a cascadei din figura 1.

Transmiterea informației între circuitele plasate la potențial înalt și circuitele aflate la potențialul pămîntului se realizează prin cîte trei

cabluri optice, unul pentru transmiterea comenzii de descărcare iar două pentru transmiterea valorilor unor tensiuni.

Circuitele aflate la potențial înalt sînt alimentate cu energie electrică care provine din bateriile de acumulatoare B_1, B_2.

Comanda de alimentare (închiderea comutatoarelor S_1,S_2) se realizează prin transmiterea unui semnal luminos, produs de lămpi cu descărcare în gaz (F_1, F_2). Puterea luminoasă ridicată a acestei surse de semnal permite micșorarea sensibilității circuitelor receptoare corespunzătoare, astfel încît să fie împiedicată acționarea accidentală, necomandată a comutatoarelor S_1, S_2.

Invertoarele I_1, I_2 produc tensiunea alternativă aplicată redresoarelor de înaltă tensiune R_1, R_2, precum și circuitelor de alimentare cu tensiune continuă ale blocurilor electronice de la potențial înalt. Tensiunea de încărcare a condensatoarelor C_{S1}, C_{S2} este urmărită la potențialul pămîntului prin lanțul de măsură și transmitere alcătuit din : divizoarele de tensiune R_{11}, R_{12} respectiv R_{21}, R_{22}; convertoarele tensiune-frecvență $(U/F)_1$, $(U/F)_2$, cablurile optice OC_1, OC_2; convertoarele frecvență-tensiune $(F/U)_1$, $(F/U)_2$. Circuitele de comparare CP_1, CP_2 sesizează momentul cînd tensiunea de încărcare a condensatoarelor C_{S1}, C_{S2} devine egală cu valoarea prescrisă și produc în acest moment semnalele de validare aplicate circuitului AND. La apariția ambelor semnale de validare circuitul AND dă comanda de trigherare a oscilografului și semnalul de comandă a contactoarelor statice SS_1, SS_2. Pentru înlăturarea unei acționări parazite a contactoarelor statice comanda de închidere a acestora se codifică la potențialul pămîntului de circuitele CC_1, CC_2 sub forma unei succesiuni de impulsuri, de durate determinate, și se decodifică la potențial înalt de circuitele D_1 și D_2. Legătura optoelectronică pentru transmiterea acestei comenzi se face prin cablurile optice OC_3 și OC_4.

Deoarece pierderea controlului asupra încărcării poate avea efecte distructive asupra transformatoarelor de încercare a fost prevăzut un al doilea lanț de transmitere a valorii prescrise a tensiunii de încărcare alcătuit de convertoarele $(U/F)_3$, $(U/F)_4$, $(F/U)_3$, $(F/U)_4$ și cablurile optice OC_5, OC_6. Dacă instalația nu a funcționat corespunzător (defectarea unuia dintre blocurile electronice etc.) și comanda de închidere a contactoarelor statice SS_1, SS_2 nu a fost transmisă, comparatoarele CP_3, CP_4 sesizează momentul atingerii valorii de încărcare 1,1 $U_{prescris}$ și comandă prin intermediul circuitelor basculante FF_1, FF_2 deconectarea tensiunii de alimentare a circuitelor plasate la potențial înalt în vederea depistării cauzei funcționării necorespunzătoare.

Încărcarea condensatoarelor C_{S1} și C_{S2} se face în general cu viteze diferite. În momentul cînd unul din aceste condensatoare a ajuns la valoarea prescrisă, comparatoarele CP_5 (sau CP_6) blochează funcționarea invertorului respectiv I_1 sau I_2. În acest mod condensatorul care s-a încărcat primul „așteaptă" încărcarea la aceeași valoare a condensatorului al doilea, după care se va da comanda de închidere a contactoarelor statice.

Pentru mărirea siguranței în funcționare este prevăzut un sistem paralel pentru împiedicarea creșterii accidentale a tensiunii de încărcare peste valoarea 1,1 $U_{prescris}$. Tensiunile de încărcare transmise la potențialul pămîntului pe căile $(U/F)_1$, $(CS)_1$, $(F/U)_1$, respectiv $(U/F)_2$, $(CS)_2$, $(F/U)_2$ sînt comparate cu nivelul 1,1 $U_{prescris}$ de circuitul OR. Dacă unul din condensatoarele C_{S1}, C_{S2} s-a încărcat peste valoarea 1,1 $U_{prescris}$, lampa cu descărcare în gaz este acționată și prin intermediul circuitelor basculante FF_1, FF_2 sînt deconectate tensiunile de alimentare și acționate scurtcircuitoarele S_3, S_4.

Circuitele FF_1, FF_2 acționează deci și în caz de avarie a instalației. Ele trebuie să aibă o stabilitate mărită la perturbații și, de aceea, sînt realizate cu tiristoare, iar comanda lor necesită putere relativ mare.

În sfîrșit, blocul de comandă OV asigură reglarea automată a tensiunii de ieșire la valoarea prestabilită, ca și sincronizarea cu alte instalații de încercare în cazul încercării echipamentului electric cu tensiuni combinate.

3. Realizarea contactorului static

Pentru descărcarea comandată a condensatoarelor C_s se folosesc contactoare statice (SS), a căror comportare trebuie să simuleze funcția unui comutator mecanic ideal.

Contactorul static trebuie să fie sigur în funcționare în întreg domeniul de tensiune de lucru, să poată fi menținut în conducție bilaterală pe întreaga durată a procesului tranzitoriu (eventual durata de conducție să poată fi controlată), să fie stabil la perturbațiile electromagnetice provocate de alte instalații care funcționează simultan, perturbații care conduc la intrarea în conducție necontrolată a contactorului, să aibe o capacitate de suprasarcină suficientă pentru evitarea deteriorării în caz de scurtcircuit sau străpungere a obiectului de încercat.

Contactorul static este format din unul sau mai multe grupuri tiristor-diodă antiparalel legate în serie în funcție de tensiunea de lucru. Pentru a se asigura menținerea în conducție a SS, la curentul sinusoidal amortizat care îl parcurge la producerea ITC, este necesară asigurarea unei așa-numite „comenzi lungi" [4]. În acest scop după terminarea impulsului de comandă o schemă auxiliară preia sarcina menținerii în conducție a SS, așa cum se arată în figura 3.

Capacitatea auxiliară C se încarcă de la o sursă de c.c. independentă, prin rezistența r. După deschiderea tiristorului auxiliar $Th1$, capacitatea C se descarcă pe poarta tiristorului principal Th. Constanta de timp de descărcare se alege astfel încît curentul prin circuitul de poartă al Th să fie mai mare decît curentul de menținere în conducție pe durata necesară.

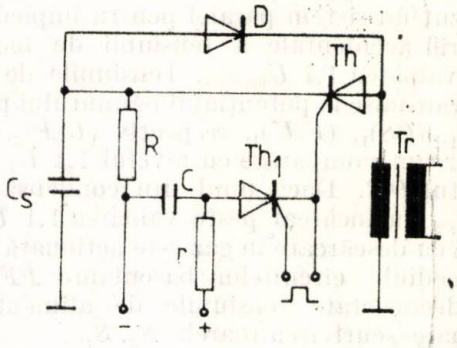


Fig. 3. Principiul contactorului static cu circuit de menținere în conducție.

Schema asigură independența curentului de menținere de tensiunea de alimentare a circuitului principal, în care este montat SS.

Realizarea practică a acestei idei este concretizată în figura 4.

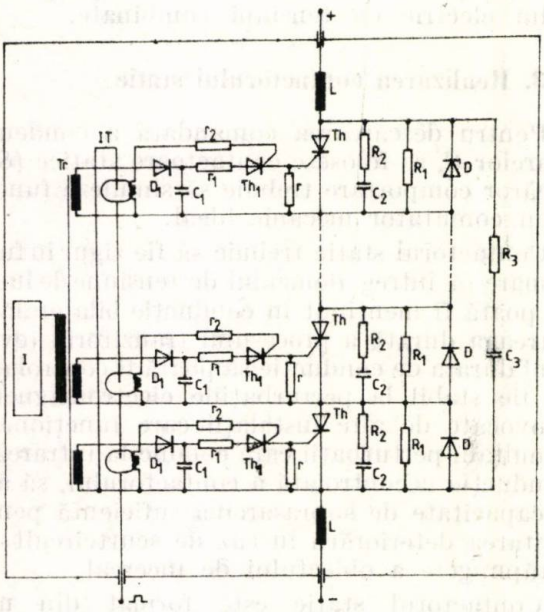


Fig. 4. Contactor static de IT cu comandă simultană de intrare în conducție.

Contactorul static prorpiu-zis este format din tiristoarele Th și diodele antiparalel D. Condensatoarele C_1 se încarcă fiecare de la cîte o înfășurare a transformatorului de ieșire al sursei de tensiune I la o tensiune independentă de tensiunea de lucru a SS. La primirea comenzii de amorsare transmisă prin transformatorul de impuls IT are loc intrarea simultană în conducție a tiristoarelor principale Th. Menținerea lor în conducție se realizează prin descărcarea condensatoarelor C_1 în circuitul de poartă al tiristoarelor Th prin tiristoarele auxiliare $Th1$ comandate simultan de la același transformator de impulsuri.

În această schemă numărul de tiristoare în serie și deci și tensiunea maximă de lucru nu sînt limitate. Timpul de intrare în conducție al SS (t_{on}) este practic egal cu timpul t_{on} al unui singur tiristor din schemă, astfel încît acest tip de SS poate fi folosit și în circuite pentru producerea supratensiunilor de tip atmosferic.

Pentru protecția împotriva interferențelor puternice din laboratorul de IT [5], circuitul SS a fost introdus într-o incintă ecranată (fig. 5), iar pentru protecția împotriva efectului du/dt au fost folosite în afara grupurilor R_2C_2, inductivitățile L care formează cu grupul R_3C_3 un divizor de tensiune simetric.

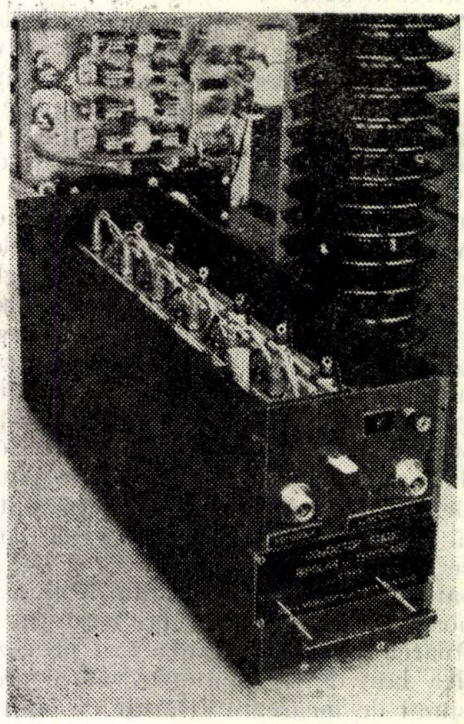


Fig. 5. Contactor static de 6 kV 5 kA conform schemei din figura 4.

Pentru verificarea practică a rezistenței la perturbații a unui SS s-a folosit următorul montaj experimental: SS a fost amplasat pe un suport izolant în hala laboratorului de IT și legat la pămînt printr-o capacitate care simulează capacitatea față de pămînt a instalației în care urmează a fi folosit. La același potențial cu SS s-a simulat un circuit de descărcare și memorare a eventualelor autoamorsări alimentat din baterie. Sursa de perturbații constă în

amorsarea repetată a generatorului de impulsuri Marx, conectat pe un eclator multiplu de tăiere a impulsului.

În general, măsurile de protecţie prezentate mai sus au fost suficiente pentru asigurarea rezistenţei la perturbaţii a *SS* realizate.

Contactoarele statice descrise au un domeniu de funcţionare mult mai mare decît orice tip de eclator comandat. Curenţii comutaţi depind de tiristoarele utilizate atingînd în prezent valori maxime repetitive de circa 10 kA.

Un interes practic deosebit îl are modificarea formei impulsului ITC prin schimbarea structurii şi controlului conducţiei *SS* [4].

Oscilogramele din figura 6 prezintă aceste posibilităţi la cascada de transformatoare de 2×600 kV, de 1 500 kVA, de fabricaţie TuR Dresden, care echipează laboratorul de IT al ICSIT-MTAE.

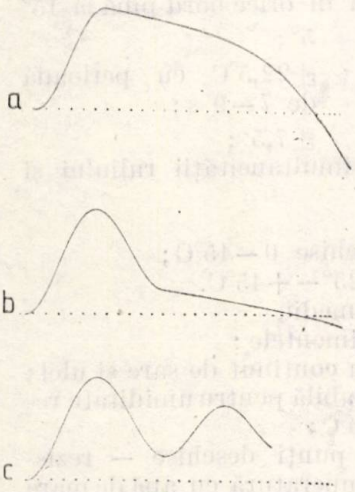


Fig. 6. Forme de impulsuri de comutaţie obţinute prin controlul conducţiei contactorului static la cascada de transformatoare de 2×600 kV 1 500 kVA. Amplitudinea impulsurilor 1 300 kV. Marcaj de timp 0,1 ms.

În afara impulsului oscilant amortizat clasic (c) pentru care *SS* are structura din figura 4 şi comportarea de contactor ideal (conducţie bilaterală şi comandă lungă) se poate obţine un impuls, în care se conservă numai prima oscilaţie (b), denumit „impuls clopot", pentru care SS păstrează conducţia bilaterală dar comanda este scurtă (lipsesc circuitele de menţinere în conducţie), sau un impuls hibrid format dintr-un domeniu de creştere de tip (1-cos ωt) şi un domeniu de spate cosinusoidal (a) pentru care SS are conducţie unilaterală şi comandă scurtă.

4. Alimentarea cu energie a schemei de producere a ITC

Pentru încărcarea condensatorului — acumulator şi alimentarea circuitelor optoelectronice şi de execuţie, aflate la potenţial înalt, s-au folosit baterii de acumulatoare auto de 24V 70Ah care asigură, la o descărcare în regim de 10 ore, o energie de cel puţin 600 kWs.

Energia transmisă transformatorului de încercare la fiecare impuls este:

$$W = 1/2\ C_s(U_0 - U_{co})^2,$$

unde U_{co} este tensiunea reziduală pe C_s după terminarea sau întreruperea procesului de descărcare.

Energia necesară pentru producerea unui impuls singular cu amplitudine maximă, de 1 600 kV în cazul utilizări contactorului ideal din figura 4, cînd $U_{co} = 0$ prin descărcarea unui condensator acumulator de 400 μF încărcat la tensiunea $U_0 = 3$ kV, ţinînd seama de randamentul încărcării de la un invertor cu tranzistoare, urmat de un redresor multiplicator de tensiune, este de 4 kWs; deci o încărcare a bateriei este suficientă pentru cel puţin 150 impulsuri la tensiunea maximă de ieşire.

În condiţiile de lucru normale o încărcare a bateriei este suficientă pentru cel puţin 600 impulsuri, ceea ce garantează posibilitatea executării unor încercări de lungă durată în mai multe schimburi.

Trebuie remarcat faptul că în cazul utilizării impulsurilor-clopot din figura 6b tensiunea reziduală după întreruperea procesului de descărcare este [4]:

$$U_{co} = U_o \exp(-2\pi\alpha/\omega),$$

unde α este amortizarea, iar ω pulsaţia proprie a circuitului oscilant-echivalent.

În acest caz energia de reîncărcare a lui C_s, preluată de la acumulator, poate fi cu cca 40% mai mică pentru amortizările practicate uzual, fără nici o influenţă asupra rezultatului încercării, atîta timp cît străpungerea intervalului izolant are loc înaintea primului maximal ITC.

5. Concluzii

1. Prin folosirea unui sistem optoelectronic de comandă şi reglaj, ca şi a unor contactoare statice de *IT* este posibil să se realizeze instalaţii de producere a ITC cu ajutorul cascadelor de transformatoare prin care se exploatează avantajele oferite de circuitul de descărcare multiplu.

2. Contactoarele statice utilizate permit obţinerea unor tensiuni de încărcare de tip ITC, a căror formă depinde de tipul de conducţie şi de timpul de menţinere în conducţie a contactorului static. Deosebit de atractivă este generarea impulsului „clopot" (oscilaţie unică)

3. Rezistenţa la perturbaţii a contactorului static, care se asigură şi se poate verifica prin mijloace simple, permite utilizarea instalaţiei descrise, fie odată cu alte instalaţii de încercare din laborator, fie sincronizat cu acestea pentru generarea de tensiuni combinate.

Bibliografie

[1] *Thione, L., Kucera, J., Weck, K.H.* Switching Impulse Generation Techniques using High Voltage Testing Transformers. În: Electra No 43 (1975), 33—72.

[2] *Kind, D., Wehinger, H.* Transients in Testing Transformers due to the Generation of Switching Impulses. In: TIEEE PAS-97 (1978), 2, 563—568.

[3] *Kucera, J., Krenek, P.* Transient Phenomena on a Cascade Transformer in Combined Circuits for Switching Impulses (în limba cehă). In: Elektr. Casopis 25 (1974), 7, 518—530.

[4] *Marinescu, A.* Static Switches for Switching Impulse Generation by Transformers. In: 4-th International Symposium on High Voltage Engine ri ıg, Athen, Greece. Paper 52.10.

[5] *Malewski, R., Huc, J., Podgorski, A.* Electromagnetic Interference Induced by Discharges of HV Impulse Generators. In: 4-th International Symposium on High Voltage Engineering Athen, Greece 64.10.

CZ 621.313.3

MOTOR ASINCRON DE JOASĂ TENSIUNE
PROIECTAREA MOTOARELOR ELECTRICE

Particularităţi de proiectare şi execuţie a motoarelor asincrone de joasă tensiune în construcţie navală

EMANOIL POPESCU, ELENA TOAXEN, FLORIAN SIMA * — CRAIOVA

1. Generalităţi

Motoarele electrice ce echipează navele diferă de motoarele de uz general atît din punct de vedere al parametrilor de funcţionare, cît şi constructiv.

Ele trebuie să fie suple dar, în acelaşi timp, robuste ţinînd seama de regimul de lucru cu vibraţii specific pe nave. Trebuie să-şi menţină capacitatea de funcţionare în condiţiile specifice navelor maritime şi fluviale şi să asigure deplasarea în siguranţă a navelor.

Lucrarea de faţă prezintă ansamblul de probleme de proiectare care s-a avut în vedere la concepţia acestei categorii de motoare, vizînd atît particularităţile de calcul, precum şi soluţiile constructive speciale adoptate.

Elaborarea proiectului de execuţie este făcută avînd în vedete tehnologiile implementate în fabricaţia de maşini electrice şi cerinţele actuale de creştere a productivităţii muncii, reducerea cheltuielilor materiale şi adîncirea gradului de tipizare.

2. Condiţii tehnice

Zona de navigabilitate fiind nelimitată, motoarele trebuie să fie construite pentru funcţionarea în medii climatice temperate, tropicale sau reci.

Motoarele principale şi auxiliare, care asigură deplasarea şi siguranţa navei, ca şi alte servicii, trebuie să-şi menţină capacitatea de funcţionare în următoarele condiţii:

a. Înclinări:

— bandă permanentă în orice bord pînă la 15°
— asietă de durată 5°;
— ruliu ±22,5°C cu perioada de 7—9 s;
— tangaj ±7,5°;

precum şi în cazul simultaneităţii ruliului şi tangajului.

b. Temperaturi:

— compartimente închise 0—45°C;
— punţi deschise —25°—+45°C.

c. Alte condiţii de mediu

pentru toate compartimentele:

— rezistenţă la aer cu conţinut de sare şi ulei;
— funcţionare ireproşabilă pentru umiditate relativă de 100% la 45°C;

pentru amplasare pe punţi deschise — rezistenţă la inundare, temperatură cu apă de mare şi contra ceţii saline.

d. Abateri ale tensiunii şi frecvenţei tensiunii de alimentare:

— de lungă durată: tensiunea ±10%;
frecvenţa ±5 %;
— de scurtă durată: tensiunea
— 30 % + 20% timp de 1,5 s;
frecvenţa ± 10 % timp de 5 s.

Motoarele electrice trebuie să fie astfel construite încît să poată dezvolta fără oprire sau fără variaţia bruscă a turaţiei creşterile de moment menţionate în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. crt.	Tipul motorului	Creşteri de moment, %	Durata suprasar., s	Cond. de încerc.
1	Motoare asincrone pentru regim continuu şi regim intermitent	50	15	Frecvenţa şi tensiunea se menţin la valorile nominale
2	Motoare asincrone pentru regim de scurtă durată şi regim continuu cu sarcină variabilă	100	15	

* ICSIT — MTAE — Craiova

— Electromotoarele instalațiilor electrice de guvernare cu acționare directă și pentru mecanismele de ancorare și de manevră trebuie să satisfacă, în ceea ce privește staționarea sub curent, următoarele cerințe :

a — posibilitatea opririi motorului electric sub curent, timp de 1 minut din starea de încălzit (numai pentru cîrme cu acționare electrică directă) ;

b — cînd se utilizează motoare cu rotor în scurtcircuit, acționările electrice ale mecanismelor de ancorare și de manevră, după o funcționare de 30 minute la sarcină nominală, trebuie să asigure posibilitatea de staționare sub curent a electromotorului la tensiunea nominală, timp de cel puțin 30 secunde, pentru mecanismele de ancorare și 15 secunde pentru mecanismele de manevră.

În cazul motoarelor cu poli comutabili această cerință este valabilă pentru funcționarea electromotoarelor cu înfășurarea care dă cel mai mare moment de pornire.

Motoarele cu rotorul bobinat trebuie să reziste la regimul de staționare sub curent indicat mai sus, însă pentru un moment de două ori mai mare decît cel nominal, în care caz tensiunea poate fi mai mică decît cea nominală.

După regimul de staționare sub curent creșterea temperaturii nu trebuie să fie mai mare de 130 % față de cea admisibilă.

Nu este permis ca motoarele să producă vibrații sau șocuri care să depășească valorile :

în domeniul de frecvență 2—13,2 Hz ;
amplitudinea ± 1 mm ;

în domeniul de frecvență 13,2—100 Hz ;
accelerația va fi de $\pm 0{,}7$ g pentru masa $M \leqslant 100$ kg ;
accelerația va fi de $\frac{\pm 70}{M}$ g pentru masa $M > 100$ kg ;
g este accelerația gravitațională.

Se va lua în condiderare o accelerație de cel puțin $\pm 0{,}35$ g.

Din punct de vedere al nivelului de zgomot, valoarea maximă admisibilă a nivelului ponderat A al presiunii acustice L_A măsurată în dB(A la distanța de 1 m de carcasa mașinii, va fi :

a — pentru compartimente de mașini cu supraveghere continuă — 90 dB ;

b — compartimente de mașini fără supraveghere continuă sau compartimente de mașini cu post central de comandă izolat fonic 110 dB.

Pentru motoarele executate în clasă de izolație F supratemperatura admisă a înfășurărilor izolate este de 95°C.

Rezistența de izolație va fi :

a — pentru mașini electrice cu o putere pînă la 100 kW și 3 000 rot/min :
5 MΩ la rece ;
3 M Ω la cald ;
minimum 1 MΩ în stare umedă ;

b — pentru mașini electrice cu o putere de la 100 kW pînă la 1 000 kW și $\leqslant$ 3 000 rot/min :
3 MΩ la rece,
1 MΩ la cald,
minimum 1 MΩ în stare umedă.

— Motoarele trebuie să poată suporta fără deteriorări porniri succesive, urmate de porniri uniform repartizate, începînd din stare caldă și la tensiunea de alimentare nominală astfel :

a — în regim normal — porniri succesive —3 ;
— porniri repartizate uniform pe oră — 4 ;

b — în regim excepțional de exploatare (după perturbații) ;
— porniri succesive —4.

Pentru motoarele de puteri $\leqslant$90 kW, valoarea curentului de pornire, raportat la curentul nominal, $\leqslant$ 6,5.

Încadrarea motoarelor în condițiile tehnice impuse se testează prin încercări electrice, mecanice și climatice. Din aceste încercări deosebite sînt încercările mecanice la care se precizează :

— stabilirea la vibrații — proprietatea echipamentului de a funcționa în condiții de vibrații, parametrii încadrîndu-se în limitele stabilite ;

— rezistența la vibrații — proprietatea echipamentului de a rezista acțiunii distrugătoare a vibrațiilor și a-și păstra parametrii în limitele stabilite după încetarea acestora.

Frecvențele, amplitudinile și durata încercărilor sînt cele din tabelul 2.

Încercarea trebuie să se facă în toate gamele de frecvențe, ca de exemplu în gama de frecvențe în care apar fenomene de rezonanță și în orice gamă, în cazul în care acestea nu apar ;

— stabilitatea la scuturături — proprietatea echipamentului de a-și îndeplini funcțiile sale

Tabelul 2

Gama de frecvențe, Hz	Stabilitatea la vibrații		Rezistența la vibrații			
			Proba de lungă durată		Proba de scurtă durată	
	Amplit., mm	Durata	Amplit., mm	Durata, h	Amplit., mm.	Durata, h
5—8	1	Atît cît este necesar pt. verificarea în funcțiune și constatarea fenomenelor de rezonanță	1,4	450	2,5	9
8—16	0,5		0,7	220	1,3	4,5
16—31,5	0,25		0,35	110	0,7	2,2
31,5—63	0,15		0,2	55	0,35	1,1

în condiții de scuturături, păstrîndu-și parametrii în limitele stabilite.

Proba constă în efectuarea a minimum 20 de scuturături cu o accelerație de 5 g și o frecvență de 40—80 scuturături pe minut;

— rezistența la scuturături — proprietatea echipamentului de a rezista acțiunii distructive a scuturăturilor și menținerea parametrilor în limitele stabilite, după încetarea acestora.

Proba constă în efectuarea a 1 000 scuturături cu o accelerație de 7 g și frecvența de 40 — — 80 scuturături pe minut.

3. Soluții de proiectare tehnologică și constructivă

Pentru a face față condițiilor deosebite cerute motoarelor ce echipează navele maritime și fluviale, la proiectare s-au luat următoarele măsuri:

— carcasa și scuturile sînt confecționate din Fc 250 aliată cu 0,5—0,8 % Cu — material rezistent la șocuri;

— construcția lagărelor exclude posibilitatea stropirii și scurgerii uleiului sau vaselinei de-a-lungul arborelui și pătrunderii lor în înfășurarea mașinii, sau la alte părți ce se află sub tensiune;

— motoarele sînt prevăzute cu gresoare și regulatoare ale cantității de unsoare cu posibilități imediate și simple de ungere;

— plăcile de borne sînt confecționate din materiale greu inflamabile

— intrarea cablurilor se face prin presetupe din alamă;

— dimensionarea electromagnetică asigură încadrarea în condițiile impuse pentru cuplu, curent de pornire și rezervă de temperatură în condițiile impuse;

— colivia-rotor este confecționată din bare de cupru;

— bobinajul — stator este impregnat de trei ori prin procedeul sub vid și presiune;

— organele de asamblare sînt acoperite electrochimic prin stanare (cele din alamă) și cadmiere (cele din oțel);

— protecția prin vopsire se face cu materiale pe bază de rășini epoxipoliamine seria 3 100.

Concluzii

Ținînd seama de condițiile tehnice de mai sus, s-au elaborat proiectele de execuție pentru motoarele navale orizontale și verticale, cu rotor în scurtcircuit, cu turații cuprinse între 750—3 000 rot/min și puteri de 30—400 kW la 380 V.

Pe bază de comandă și în funcție de repartiție se pot obține motoarele solicitate.

CZ 621.333

GENERATOR SINCRON DE TRACȚIUNE

O nouă generație de generatoare sincrone cu performanțe ridicate pentru tracțiunea feroviară

MIHAI COMAN, ZAHARIA ENESCU, MIRCEA COMAN, DAN BOLTAȘU * — CRAIOVA

1. Generalități

Dezvoltarea și modernizarea transporturilor feroviare impun echipamentelor electrice, destinate locomotivelor, asigurarea unei mari siguranțe în exploatare, concomitent cu creșterea parametrilor tehnico-economici.

Asimilarea unei serii unitare de generatoare sincrone de tracțiune decurge din problemele majore tehnico-economice ale dezvoltării construcțiilor de material rulant, fiind impuse și de obligativitatea asigurării competitivității locomotivelor pe piața mondială.

Astfel, la proiectarea noilor generatoare s-a pus problema creșterii puterii pe unitatea de masă, concomitent cu creșterea performanțelor tehnice ale produselor. Acest fapt implică indicatori din ce în ce mai mari ai izolației înfășurărilor, solicitării termice, mecanice și dielectrice. Un rol major în acest caz îl are asimilarea schemelor de izolație de clasă superioară, respectiv clasa *H*.

2. Generatoare sincrone de tracțiune în clasa H de 4 500 CP și 3 000 CP

La realizarea unei noi scheme de izolație, proiectantul a fost pus nu numai în fața necesității de a alege materialele din punct de vedere al performanțelor tehnice, ci și în fața aspectului economic, tehnologic al disponibilităților de procurare și aprovizionare.

Dat fiind că actualmente clasa de izolație *F* este uzual utilizată, problemele noi ce se pun sînt cele ale asimilării clasei de izolație *H*. Prin urmare se pune problema unor materiale care, în cazul tracțiunii, în serviciul nominal să admită o temperatură de 200°C (160+40°C ambiant) la rotoarele mașinilor și 220°C în cazul

* ICSIT—MTAE — Craiova

statoarelor (măsurate prin metoda rezistenței) conform UIC 619 și CEI 349.

În ideea de avea un număr mic de tipodimensiuni de materiale electroizolante, rotorul s-a construit cu poli înecați. Schema de izolație, propusă a se utiliza, este sistemul de izolație așa-zis „compact", sistem indicat în mod special pentru mașini cu solicitări deosebit de mari, mai ales de ordin mecanic, vibrații, șocuri termice, și care utilizează benzi poliamidice, micabenzi poroase cu izolație continuă și folii poroase.

Criteriile alegerii acestui sistem sînt următoarele :

— sistemul de izolație „compact" este similar cu sistemul de izolație clasă *F*, diferența constînd doar în utilizarea materialelor de clasă *H* ;

— proprietățile tehnologice ale materialelor utilizate sînt similare cu cele ale materialelor clasa *F* ;

— utilajele necesare (prese de micanizat, instalații de impregnare și uscare) se pot folosi cele existente. Se menționează că instalațiile de impregnat nu se pot folosi concomitent și pentru clasa *F*.

2.1. Condiții de dimensionare

Avînd în vedere că astăzi, în tracțiunea feroviară modernă, s-a impus tot mai mult sistemul de antrenare mecanică a ventilatoarelor, care asigură ventilația motoarelor de tracțiune, la generatoarele de tracțiune aflate deja în exploatare, s-a pus problema montării în capătul generatorului și antrenării de la arborele lui a unui multiplicator de turație, care, la rîndul lui, să antreneze ventilatorul în cauză.

Inconvenientul care apare îl constituie acest lanț foarte lung de mașini (generatorul principal, auxiliar, excitatoarea, puntea redresoare și inelele colectoare) prinse în consolă de motorul diesel.

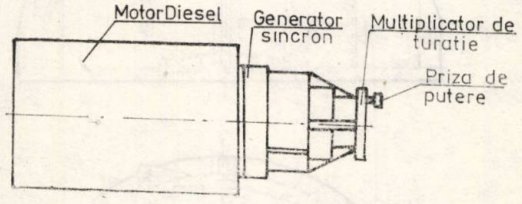


Fig. 1. — Ansamblul motor-diesel — generator.

Constructiv, pentru a se înlătura acest neajuns și pentru a se apropia cît mai mult centrul de greutate al ansamblului generator-multiplicator de turație de batiul motorului diesel, s-a conceput o nouă mașină ale cărei performanțe sînt la cel mai înalt nivel tehnic.

Generatorul se compune din :

— generatorul sincron principal propriu-zis, al cărui rotor și stator sînt realizate în clasa *H* de izolație ;

— generatorul de excitație de curent continuu, generatorul auxiliar, tot de curent continuu și priza de putere pentru antrenarea ventilatorului, montate în consolă pe scutul generatorului principal.

Generatorul de excitație și auxiliarul sînt realizate în clasa de izolație *F*.

Ventilarea mașinilor este de tip forțată de la ventilatorul principal antrenat prin priza de putere menționată.

Antrenarea generatorului de excitație, a generatorului auxiliar și a prizei de putere se realizează de către generatorul principal printr-un sistem de roți dințate, obținîndu-se, la mașinile în consolă, o turație de circa 2 750 rot/min. Pentru această turație au rezultat la mașinile auxiliare dimensiuni de gabarit destul de reduse, deci și o scădere a masei lor.

Arborele generatorului principal este realizat din oțel turnat, gol la interior, la fel și carcasa-scut.

Pentru a se pune în evidență avantajele acestor mașini, se va face o comparație cu vechile generatoare de 4 000 CP.

La alegerea solicitărilor specifice s-a pornit, în primul rînd, de la experiența institutului nostru în proiectarea și asimilarea generatoarelor sincrone de tracțiune, de diverse puteri, în clasă *F*.

Încărcările fundamentale de dimensionare *A* și *B* s-au ales astfel încît să se obțină o mașină cît mai scurtă.

Încărcarea liniară (A) intervine nu numai la asigurarea unor parametri, ci și la regimul ei termic, corelat în același timp cu densitatea de curent (*J*). De aceea va trebui avut în vedere produsul $A \times J$ care în mod practic oferă una din cele mai clare imagini asupra încălzirilor, factor care poate fi luat ca element de comparație între mașini.

Pătura de curent statorică și densitățile de curent în înfășurarea statorică și rotorică s-au ales astfel încît să se obțină încălzirea corespunzătoare clasei de izolație *H*. Așa cum s-a mai arătat se vor lua drept elemente de comparație generatoarele de 4 000 CP în clasă *F*.

La stator, la regimul de tensiune inferioară $A_1 = 696$ A/cm, $J_1 = 5{,}96$ A/mm² și $A_1 \times J_1 = 4\,150$ (A/cm × A/mm²), la care a rezultat o temperatură $\theta_1 = 121{,}5$°C.

În cazul de față, la regimul de tensiune inferioară se poate considera că ponderea cea mai mare în încălzirea mașinii o au pierderile în cuprul-stator, deci pentru clasa de izolație *H*, conform UIC-619, pentru $\theta_{H1} = 180$°C, rezultă :

$$A_{H1} \cdot J_{H1} \cdot \frac{\theta_{H1}}{\theta_1} = \frac{180}{121{,}5} \times 4\,150 = 6\,148$$

(A/cm × A/mm²).

Admițîndu-se și o rezervă de 10°C—15°C se poate afla valoarea $A_{H1} \cdot J_{H1} \cdot \frac{\theta_{H1}}{\theta_1} = (5\,220 - 5\,530)$ (A/cm × A/mm²).

Pentru a se obține o mașină cu dimensiuni cît mai reduse pe de o parte, iar pe de altă parte pentru a se putea corela numărul de spire între cele două tipuri de generatoare, s-a ales numărul de crestături pe pol și fază $q = 3{,}5$ cu o scurtare a bobinajului de aproximativ 5/6, care micșorează foarte mult armonicile de ordin 5 și 7.

Inducția în întrefier $B\alpha H_1$ la regimul de tensiune superioară se va alege conform diagramelor pentru pasul polar (τ) și numărul de poli $2p$ pentru clasă F cu o mărire de cca 20%.

La fel se va proceda și pentru celelalte solicitări electrice ale statorului referitoare în primul rînd la pătura de curent AH_1.

Cunoscînd încărcarea liniară $AH1$, se poate determina densitatea de curent:

$$JH_1 = \frac{5\,222 - 5\,530}{850} = (6{,}15-6{,}5),\ \text{A/mm}^2.$$

Stabilirea lungimilor, pentru aproximativ aceeași putere, a rezultat din relația:

$$L_{i1} = \frac{60 \cdot S_{i1} \cdot 10^3}{K_B \cdot K_w \cdot \alpha_i \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot A_1 B\alpha_1},\ \text{mm}.$$

Se notează cu indice 1 valorile pentru clasa F și cu H_1 valorile pentru clasa H.

Considerînd același diametru interior stator (D), aceeași turație, (n), cu puterea interioară (S_i) aleasă corespunzător, dar cu AH_1 și $B\alpha H_1$ mai mari cu circa 20% decît valorile obișnuite în clasa F, rezultă:

$$LiH_1 = \frac{60 \cdot SiHi \cdot 10^3}{k_B \cdot k_w \cdot \alpha_i \pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot AH_1 B\alpha H_1},\ \text{mm},$$

făcînd raportul între Li_1 și LiH_1 se determină:

$$\frac{Li\,H_1}{Li_1} = \frac{A_1 B\alpha_1 SiH_1}{A_1 \cdot B\alpha H_1 \cdot SiH_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow LiHi = \frac{AH_1 \cdot B\alpha H_1 \cdot SiH_1}{AH_1\, B\alpha H_1 \cdot Si_1} = Li,\ \text{mm}.$$

La aceeași mașină:
$J2 = 5{,}6\ A/\text{mm}^2$, iar încălzirea rezultată a fost $\theta_{r1} = 128{,}2°C$.

În cazul de față $\theta rH_2 = 180°C$ rezultînd:

$$JrH_2 = \sqrt{\frac{\theta_r H_2}{\theta_{r1}}} \cdot J_2 = \sqrt{\frac{180}{128{,}2}} \cdot 5{,}6 = 6{,}62$$

A/mm²

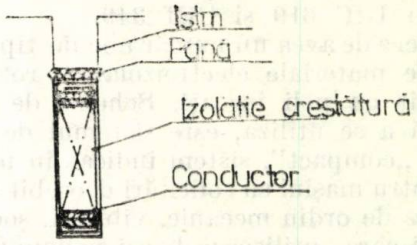


Fig. 2 — Secțiune prin crestătura rotorului.

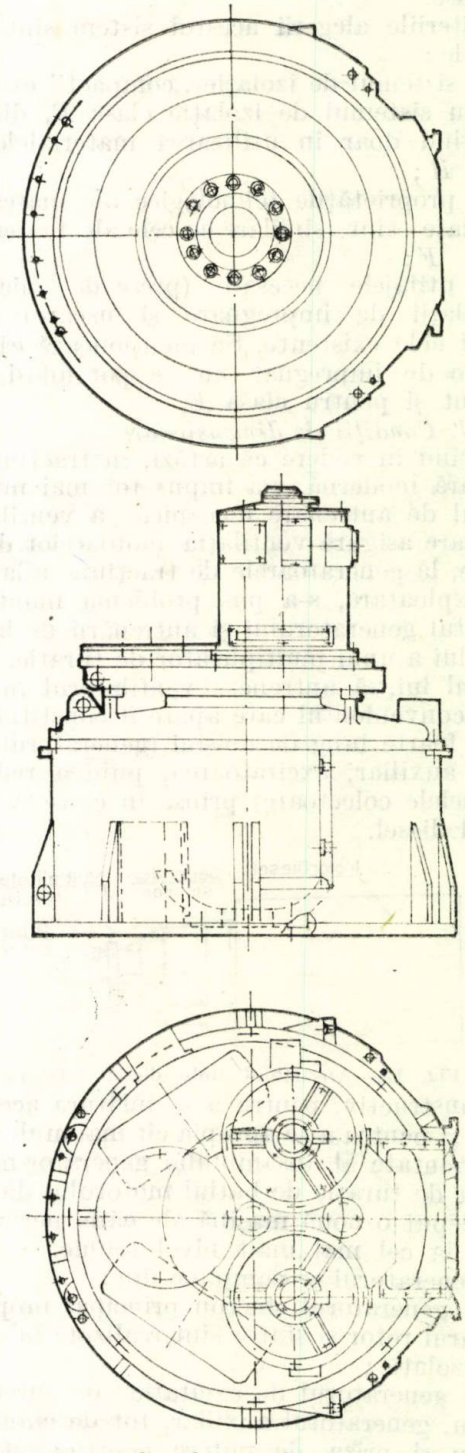


Fig. 3 — Vedere de ansamblu a generatorului.

Admiţînd şi aici o rezervă termică de 10°C—15°C de calcul, va reieşi $JrH_2 = (6{,}35-6{,}44)$ A/mm².

Cu aceste solicitări specifice comparate s-au calculat şi dimensionat noile generatoare sincrone în clasa de izolaţie H pentru 3 300 CP 4500CP.

Rotorul, aşa cum s-a mai spus, s-a ales cu poli înecaţi cu tolele presate direct pe corpul-rotor.

Pentru a se obţine o răcire bună a înfăşurării rotorice, crestătura s-a executat cu un istm de circa 17 mm, prin care circulă aerul de răcire (fig. 2).

Din experienţa de fabricaţie pe care o avem rezultă că, folosind această crestătură s-a redus încălzirea cu circa 15—20°C a înfăşurării rotorice.

Generatorul auxiliar şi de excitaţie sînt maşini obişnuite de tracţiune, de curent continuu. Ele sînt astfel dimensionate încît pe lîngă funcţiile obişnuite pe care le au, mai îndeplinesc împreună şi rolul de demarare a grupului diesel generator fiind prevăzute cu o înfăşurare-serie special dimensionată.

Transmiterea mişcării de la grupul diesel-generator principal la ventilator, excitatoare şi generatorul auxiliar se face prin intermediul unui ansamblu multiplicator cu $i = 2{,}5$, care la pornire lucrează ca demultiplicator ($i = 1/2{,}5$), transmiţînd mişcarea în sens invers de la maşinile auxiliare la generatorul principal.

Multiplicatorul constă din trei perechi de angrenaje (cu roţi dinţate cilindrice cu dinţi drepţi), realizate de o roată centrală fixată pe capul axului generatorului principal şi trei roţi fixate pe capetele axelor generatorului auxiliar, al excitatoarei şi al prizei de putere. Ungerea angrenajelor multiplicatorului este asigurată de ceaţa de ulei realizată în interiorul carcasei multiplicatorului de o roată liberă (antrenată de roata centrală) aflată permanent în baia de ulei, pe toată înălţimea dintelui. Etanşarea este asigurată de elemente specifice funcţionării în medii de ulei (figura 3).

3. Concluzii

Generatoarele în clasă H astfel dimensionate, au condus la reduceri considerabile ale greutăţii specifice. La puterea de 4 500 CP masa generatorului, cu toate accesoriile, este de circa 7 000 kg, faţă de aproximativ 7 300 kg cît are maşina la 4 000 CP în clasa *F*.

De asemenea, adoptîndu-se o astfel de construcţie, s-a redus lungimea maşinilor cu circa 1 000 mm.

Generatoarele în această soluţie constructivă reprezintă o realizare importantă, contribuind la creşterea nivelului tehnic şi a competitivităţii locomotivelor magistrale.

CZ 621.313.3

MOTOR ASINCRON DE ÎNALTĂ TENSIUNE
REGIM TRANZITORIU

Asupra solicitărilor care apar în motoarele asincrone de înaltă tensiune la comutarea surselor de alimentare

CONSTANTIN IONESCU, DORU MITRAN * — CRAIOVA

Introducere

La deconectarea unui motor asincron de la reţea curenţii şi fluxurile din rotor nu dispar instantaneu, ci se amortizează în timp, în funcţie de parametrii circuitului rotoric $\left(\text{raportul } \frac{X}{R}\right)$.

Fluxul rotoric induce în înfăşurarea statorului (care a fost deconectată de la reţea) o tensiune Vm care scade de la valoarea U_N la zero, într-un interval de timp relativ scurt. Datorită micşorării vitezei rotorului între tensiunea reţelei şi tensiunea indusă în înfăşurarea statorului apare un defazaj Φ.

La reconectarea alimentării, dacă defazajul $\Phi = 180°$, iar tensiunea remanentă Vm are o valoare apropiată de U_N, apare un cuplu negativ tranzitoriu care poate să atingă valori de ordinul $5 \times M_{max}$.

De asemenea, curenţii pot lua valori foarte mari ($i_{s\ mare} = 15 \times I_N$).

Atît cuplul negativ tranzitoriu, cît şi curenţii care apar în aceste situaţii se amortizează repede.

1. Studiul analitic al problemei

Studiul analitic al acestui regim tranzitoriu se poate face plecînd de la ecuaţiile axelor *d* şi *q*

* ICSIT-MTAE — Craiova

Dacă se consideră turația mașinii constantă este necesară rezolvarea sistemului format din ecuațiile (1) și (2).

$$\begin{bmatrix} e_{d1} \\ e_{d2} \\ e_{q2} \\ e_{q1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 + L1p & Mp & 0 & 0 \\ Mp & R2 + L2p & -L2\theta' & -M\theta' \\ M\theta' & -L2\theta' & R2 + L2p & Mp \\ 0 & 0 & Mp & R1 + L1p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d2} \\ i_{d2} \\ i_{q2} \\ i_{q1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$T = P_0 M (id_1 iq_2 - iq_1 id_2). \quad (2)$$

Pentru cazul în care turația este considerată variabilă este necesară introducerea ecuației pentru sistemul mecanic (3):

$$T = \frac{J}{P_0} P_\xi^2 + f(\theta). \quad (3)$$

Rezultatele obținute prin metode analitice sînt foarte apropiate de determinările practice.

Trebuie menționat că există intervale de temporizare, pentru care $\Phi = 360°$ (sau 0°), cînd nu apare cuplul negativ tranzitoriu. Pentru sarcini mici ale mașinii este de așteptat ca tensiunea remanentă Vm la bornele mașinii să fie aproape zero, înainte ca defazajul Φ să atingă valori apropiate de 180°, deci cuplul negativ va fi de valori foarte mici, sau nul.

Cuplul negativ tranzitoriu maxim $\hat{T}_R$ crește cu creșterea puterii mașinii, dar valoarea lui raportată, de exemplu, la cuplul maxim poate să nu varieze semnificativ.

În literatura de specialitate este indicată o curbă normalizată obținută prin raportarea cuplului maxim negativ $\hat{T}_R$ la cuplul maxim al mașinii și a întîrzierii reconectării alimentării la constanta de timp a circuitului deschis al rotorului, cu ajutorul căruia se poate determina valoarea cuplului maxim negativ pentru orice mașină (fig. 1), cu o precizie de ±10%.

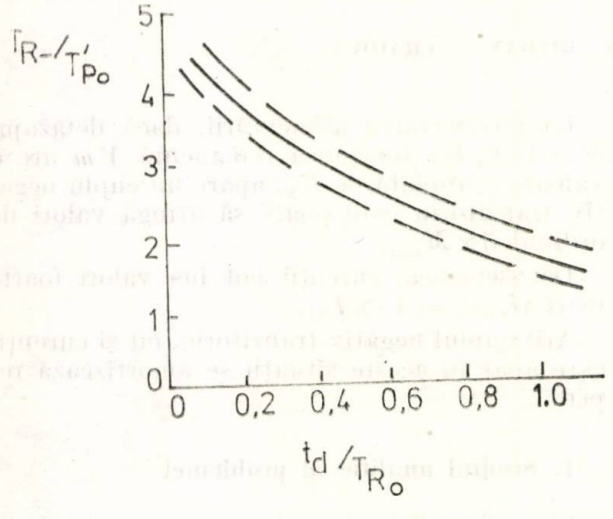


Fig. 1. Variația lui T_R în intervalul de întîrziere. Cuplul și scara timpului normalizate.

Deoarece în practică este dificilă realizarea unui dispozitiv care să asigure reconectarea alimentării la momente de timp pentru care $\hat{T}_R = 0$, se impune adoptarea unor soluții constructive pentru mașinile electrice, care să le facă apte să suporte solicitările de natură mecanică și electrodinamică, ce apar la comutarea surselor de alimentare.

2. Verificarea la comutarea surselor de alimentare a motoarelor electrice asincrone de î.t. fabricate la IEPC

Avînd în vedere faptul că o parte din motoarele electrice asincrone de î.t. fabricate la IEPC sînt utilizate la acționări în care apar frecvent comutări ale surselor de alimentare (termocentrale, centrale nuclearo-electrice) se impune verificarea soluțiilor constructive adoptate pentru ca aceste mașini să poată suporta în bune condiții solicitările mecanice și electrodinamice care apar în aceste situații.

A fost supus verificării la comutarea surselor de alimentare motorul asincron trifazat tip MIB - X 500 S 90—4, 200kW, 1 500 rot/min, 6kV.

Această mașină a fost luată din producția curentă și este reprezentativă din punct de vedere al soluțiilor constructive adoptate pentru motoarele destinate acționărilor din centralele termoelectrice.

Principalele soluții constructive sînt:

— miezurile magnetice stator și rotor sînt fixate în carcasă, respectiv pe arbore, prin presare și asigurare împotriva rotirii cu ajutorul unor dispozitive adecvate;

— colivia rotorică este realizată din bare de cupru de formă specială, blocate în crestături prin intermediul unor pene tangențiale și avînd capetele frontale consolidate cu ajutorul bandajelor din oțel nemagnetic;

— capetele frontale ale bobinelor statorice și cablurile flexibile de legare la cutia de borne sînt consolidate într-un sistem special;

— schema de izolație a bobinajului-stator este dimensionată ca să suporte șocurile de tensiune de pînă la 2 U_N.

Schema electrică monofilară, folosită pentru verificarea motoarelor la comutarea surselor de alimentare, este prezentată în figura 2,

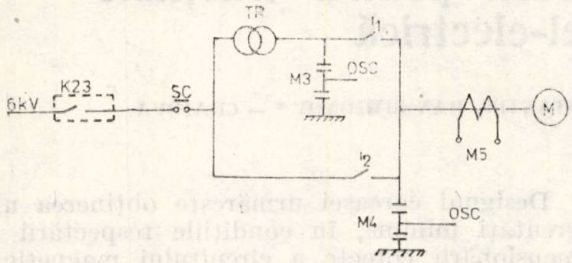


Fig. 2. Schemă electrică monofilară pentru verificarea motorului la comutarea sursei de alimentare.

în care :

T_R reprezintă un grup de trei transformatoare monofazate, conectate în schemă trifazată, cu grupa de conexiuni D/D şi avînd raportul de transformare $K = 1{,}07$;

defazajul introdus de acest transformator este de 180°.

$M3$ şi $M4$ — divizor capacitiv de 1 000 pF, IT şi 133 nF JT;

$M5$ — transformator de curent de 1500/5A.

Maşina a fost deconectată de la reţea 40 ms, timp în care tensiunea remanentă la bornele statorului a ajuns la aproximativ 80 % din valoarea tensiunii iniţiale (U_N). Conectarea s-a făcut cu tensiunile de operaţie de fază (180°).

Curenţii au atins valori de 934 A maximum pe faza S şi 1 226 A maximum pe faza T. Amortizarea acestor curenţi s-a făcut într-un timp scurt.

3. Concluzii

Maşina a suportat atît solicitările mecanice, datorate cuplului negativ tranzitoriu $\hat{T}_R$, cît şi solicitările electrodinamice, rămînînd în stare de funcţionare.

La demontare nu s-au constatat rotiri ale miezurilor magnetice sau alte defecte de natură mecanică sau electrică.

Proba de comutare a surselor de alimentare reprezintă o noutate pe plan naţional, ca atestînd capabilitatea maşinilor electrice asincrone de î.t. de a funcţiona sigur în regimurile specifice exploatării din termocentrale.

Bibliografie

[1] * * * Proceedings nr. 12/1968.

[2] *Bălă Constantin* Maşini electrice, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1979.

[3] *Kovacs, K. Pal.* Analiza regimurilor tranzitorii ale maşinilor electrice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.

CZ 621.333

MOTOR DE TRACȚIUNE
IZOLAȚIE ELECTRICĂ

Noua serie de motoare de c.c. pentru tracțiune feroviară diesel-electrică

HRISTOS COGHIAS, PAUL TOBĂ, DORIN CONSTANTIN, DAN SIMIONOV * — CRAIOVA

Cerințele sporite de creștere a capacităților de transport și de scurtare a timpului de călătorie au necesitat în ultimii ani obținerea unor puteri de antrenare din ce în ce mai mari pe vehiculul-motor. În schimb, spațiul disponibil pentru poziționarea motoarelor de tracțiune a rămas neschimbat, sau chiar a fost diminuat. Aceste exigențe au condus la creșterea puterii specifice (masice) a motorului. Lucrarea de față prezintă direcțiile de perspectivă în construcția motoarelor de tracțiune, în curent ondulat, alimentate prin convertizoare statice, cu forme de execuție modulară și clasă de izolație *H*.

a. *Construcția seriei de motoare de tracțiune*

Construcția motoarelor de tracțiune fiind dependentă de mulți factori și de limitări, unele din ele contradictorii (satisfacerea unora putînd duce la nerealizarea altora) este evident necesară considerarea globală a tuturor cerințelor, aceasta constituind dificultatea de bază a proiectării motoarelor de tracțiune.

Alegerea numărului de poli, factor determinant în revoluționarea constructivă a motoarelor și încadrarea lui în gabaritele impuse de așezarea pe boghiu, s-a făcut în urma analizei din punct de vedere tehnico-economic, tehnologic, al siguranței în exploatare, întreținerii ușoare, al posibilităților de remediere și reparații.

Soluția adoptată pe plan mondial este execuția motoarelor cu patru poli de excitație. Tipurile de motoare pînă la 400 kW nu sînt prevăzute cu înfășurare de compensație, aceasta permițînd executarea înfășurării statorice simple și foarte robuste. Pentru puteri mai mari se impune prevederea înfășurării de compensație.

Carcasa turnată din oțel are o formă constructivă astfel aleasă încît să se utilizeze maximum de spațiu activ pentru dispunerea bobinajelor statorice și încadrarea pe boghiu din punct de vedere al centralei și gărzii la sol.

Construcția carcasei are în vedere realizarea circuitului de ventilație. Motoarele de c.c. pentru tracțiune sînt prevăzute cu ventilație forțată, fără ventilator, care din motive de construcție, ca și de reducere a zgomotului acestora, conduce la avantaje certe. Intrarea aerului se face prin partea superioară dinspre colector, iar ieșirea prin ferestrele dispuse pe peretele frontal al carcasei dinspre partea de tracțiune.

Designul carcasei urmărește obținerea unei greutăți minime, în condițiile respectării dimensionării corecte a circuitului magnetic și rezistenței mecanice.

Scuturile sînt prevăzute din oțel turnat, în construcția lor avîndu-se în vedere, ca de altfel la toate reperele principale, obținerea unor greutăți minime în condițiile unei rezistențe mecanice corespunzătoare

Ținîndu-se seama de construcția cu cuzineți propusă, ansamblul lagăr — cuzinet — sistem de ungere urmărește în linii mari construcția actuală a ultimelor motoare de tracțiune LDE fabricate la IEPC: capac-lagăr din oțel turnat, cuzineți turnați din bronz cu compoziție antifricțiune, ungere pe osie cu fitile.

Mărimea cuplurilor motoarelor propuse în condițiile unor dimensiuni uzuale ale capului de ax, cu implicații în dimensionarea angrenajului, impune caracteristici mecanice ridicate oțelului utilizat pentru arborele motorului, astfel că se vor utiliza oțeluri aliate forjate, la care vor fi prevăzute tratamente termice corespunzătoare și controlate ultrasonic.

Motoarele fiind destinate, în principal, locomotivelor diesel electrice cu transmisie curent alternativ — curent continuu, cu alimentare cu curent redresat în punte trifazată la care pulsația nu depășește 6 — 7 %, nu au fost necesare măsuri cu totul speciale de reducere a influenței pulsației.

Totuși, pentru îmbunătățirea efectelor parazitare ale componentei alternative asupra funcționării motorului, polii auxiliari se vor construi din tole de tablă silicioasă, cu grosimea de 0,5 mm, cu întrefier suplimentar între poli și carcasă.

De asemenea, polii principali se vor construi din tole de tablă de oțel sau tablă silicioasă.

Circuitul magnetic al rotorului va fi constituit din tole de tablă silicioasă, presate direct pe ax, cu canale de ventilație axială, urmărind atît realizarea răcirii, cît și reducerea greutății.

Colectoarele vor fi realizate din lamele de cupru în aliaj cu argint 0,1—0,2 % în sistemul clasic de strîngere pe conuri.

Pentru reducerea reperelor s-a adoptat construcția cu bucșa de presare colector comună cu inelul de presare rotor parte colector, sistem practicat în IEPC.

Răcirea colectorului se realizează prin circulația aerului de ventilație pe suprafața colecto-

* ICSIT-MTAE — Craiova

rului și printre nervurile bucșei-colector, construcția asigurînd o etanșare sigură a colectorului și bobinajului, corespunzător funcționării în diferite medii climatice.

Sistemul de fixare a portperiilor are o construcție simplă și ieftină, necesitînd spații reduse, deci avantajos din punct de vedere al încadrării în gabarit.

Lagărele motoarelor electrice sînt pe rulmenți cu role de tip NU și NUP sau NJ+HJ.

Utilizarea rulmenților de tip NJ+HJ în locul rulmenților NUP este preferată avînd în vedere robustețea mai mare la sarcini axiale.

Soluția de lagăre propusă este pentru motoare cu angrenaje cu dantură dreaptă. Pentru alte variante de dantură se va reconsidera construcția lagărelor.

Sistemul de etanșare și ungere a lagărelor face posibilă funcționarea motoarelor în condiții de mediu cu praf, umezeală etc.

Bobinajul rotoric este de tipul buclat simplu, cu legături echipotențiale dispuse în parte colector.

Realizarea bobinelor se face cu fir continuu în trepte sau cu secții egale funcție de mărimea motorului.

Dispunerea conductorilor în crestătură se face pe lat, aceasta prezentînd următoarele avantaje:

— scăderea pierderilor suplimentare;

— creșterea coeficientului de transmisie a căldurii pe lățimea crestăturii;

— creșterea coeficientului de umplere a crestăturii;

— o înălțime a crestăturii relativ mică care conduce la o micșorare a t.e.m. — reacție.

Toate acestea permit o creștere de putere în același gabarit cu 10—15 %, precum și o capacitate mărită de comutație.

Din punct de vedere tehnologic această soluție necesită aplatizarea conductorilor pentru introducerea lor în șlițul lamelei de colector.

Dispunerea în crestătură și aplatizarea conductorilor în sistemul prezentat au fost realizate în IEPC pentru mașini fabricate în serie.

Conductorii bobinajului rotoric se sudează în lamele-colector în sistemul TIG, fără aport de material, acest tip de sudură asigurînd un contact intim, sigur și care rezistă la încălziri locale foarte ridicate.

Scheme de izolație și materiale electroizolante

La proiectarea mașinilor noi și mai ales la realizarea unor capete de serii, unde problema performanțelor se pune mai acut, proiectantul este pus întotdeauna în fața necesității de a cîștiga mereu mai mulți kW/unitatea de masă, concomitent cu creșterea performanțelor tehnice ale produselor. Ambele necesități implică solicitări din ce în ce mai mari ale izolației înfășurărilor, solicitări de ordin termic și dielectric.

La realizarea unei noi scheme de izolație specialiștii sînt puși nu numai în fața necesității de a alege materialele din punct de vedere al performanțelor tehnice, ci și în fața unor aspecte privind posibilitățile de procurare (de pe piața internă, din import, materiale deficitare etc.), precum și aspectul economic.

Dat fiind că actualmente clasa de izolație F este uzual utilizată, problemele noi ce se pun sînt cele ale asimilării clasei de izolație H. Prin urmare, se pune problema unor materiale care în serviciul nominal funcționează la o temperatură de 200°C (160° + 40°C ambiant) la rotoarele mașinilor și 220°C în cazul statoarelor. Atestarea faptului că materialele corespund acestor domenii de temperatură se face atît prin încercări de scurtă durată, cît și prin încercări de lungă durată.

La atestare se au în vedere comportarea materialelor la îmbătrînire, rigiditatea dielectrică, tangenta unghiului de pierderi etc.

Sînt de menționat cîteva aspecte:

— proprietățile mecanice și dielectrice trebuie să fie corespunzătoare atît la temperatura ambiantă, cît și la temperatura de funcționare;

— alte proprietăți fizice, cum sînt: conductivitatea termică, rezistența la murdărie, la soluții acide sau alcaline etc.

Pentru clasa H de izolație sînt reprezentative două sisteme de izolație:

a — sistemul de izolație rotorică în clasă H cu rășini silicon ice, așa-zisul „sistem compact" care utilizează benzi poliamide, micabenzi poroase cu izolație continuă și folii poroase. După bobinare rotorul este impregnat global în rășină siliconică fără solvent, rezultînd o izolație compactă, care constituie principalul avantaj al sistemului. Sistemul are suficientă elasticitate pentru preluarea dilatațiilor termice, vibrațiilor și altor solicitări de ordin mecanic, protejînd înfășurarea împotriva deteriorărilor. Pe plan mondial sistemul a fost realizat pentru prima oară cu circa 10 ani în urmă de BBC, extinzîndu-se ulterior pentru motoare de tracțiune și de alte firme cu foarte bune rezultate.

b — sistemul de izolație în clasă H așa-zis „moale" bazat pe ela tomeri siliconici la care, bobinele fiind vulcanizate individual la temperaturi înalte, nu este necesară impregnarea totală. La acest sistem izolația bobinelor este de tip discontinuu.

Sisteme de izolare a înfășurărilor

a. Izolație stator-clasă H, realizată mai recent odată cu apariția rășinilor siliconice fără solvenți, obținută după tehnologia similară

clasei *F*, prezintă caracteristici dielectrice bune, însă caracteristicile mecanice sînt mai slabe față de clasa *F* și insuficient verificate în exploatare. De aceea, în prezent majoritatea firmelor constructoare de mașini din lume folosesc încă sistemul de izolație clasa *F*.

b. La sistemul de izolație pentru stator se va folosi cel de clasă *F* utilizat la IEPC cu rezultate excelente la mașinile de tracțiune. Sistemul de izolație clasă *F* folosind micabenzi impregnate în rășini epoxidice termorigide creează o izolație capabilă să reziste la solicitări mecanice mari (șocuri, vibrații pînă la 8 g) specifice mașinilor de tracțiune semisuspendate.

La rotor se propune a se utiliza sistemul de izolație așa-zis „compact".

Criteriile tehnologice de alegere a acestui sistem sînt următoarele:

— tehnologie mai simplă, nefiind necesare utilaje specializate;

— ciclu mai scurt de fabricație, operația de rigidizare a izolației obținîndu-se odată cu impregnarea rotorului.

Materialele electroizolante, lacurile de impregnare, calitatea conductoarelor de bobinaj, a materialelor, colectorului, periilor, precum și execuția după o tehnologie avansată (impregnări în vid sub presiune, lipituri TIG la colector etc.), concură la realizarea unui grad înalt de fiabilitate.

Documentația de execuție va fi realizată în sistemul de „asigurare a calității" cu recepție pe faze de fabricație.

Normele după care se vor încerca mașinile pe standul de încercări IEPC vor fi în concordanță cu ultimele redactări ale normelor internaționale UIC și CEI.

La încercările loturilor-prototip se vor face probe „de performanță" care vor completa programul încercărilor de tip din normele tehnice. Asimilarea seriei unitare de motoare de tracțiune asigură diversificarea fabricației de locomotive diesel-electrice la IEPC și la Intreprinderea „23 August" — București creînd condiții de creștere a competitivității locomotivelor noastre la licitații internaționale, prin creșterea parametrilor tehnico-economici.

Realizarea motoarelor în clasă *F*/*H* constituie un pas important în impulsionarea trecerii la generalizarea clasei de izolație *H* în construcția mașinilor electrice la IEPC, ceea ce va conduce la creșterea puterilor în aceleași gabarite și alinierea la ultimele cerințe ale beneficiarilor externi, în special în domeniul tracțiunii.

CZ 621.313.3

MOTOR ASINCRON
STAND DE ÎNCERCARE

Considerații asupra comportării motoarelor asincrone la porniri repetate

CONSTANTIN IONESCU, VALERIU IOANA, NICOLAE PRUSACOV * — CRAIOVA

Introducere

Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit solicită puternic întreaga construcție a acestora, în special colivia rotorului.

În timpul pornirii eforturi combinate de natură termică, mecanică și vibratorie acționează asupra coliviei, producînd, în cazul pornirilor repetate, distrugerea prin oboseală.

Pentru a se asigura motoarelor durata de viață impusă de 30 de ani la acționările din centralele termoelectrice și nuclearo-electrice, motoarele trebuie să poată suporta 5 000 de porniri.

Dezvoltarea unei activități de cercetare științifică în acest domeniu și realizarea unui stand pentru încercarea motoarelor la porniri repetate, reprezintă o premieră care va asigura condițiile de creștere a fiabilității motoarelor cu destinație specială asimilate la întreprinderea „Electroputere" Craiova.

Diversele acționări din cadrul centralelor nucleare sau din cadrul centralelor termoelectrice fac necesară utilizarea unui mare număr de motoare.

În cadrul centralei pot apare opriri și porniri accidentale care sînt suportate cu precădere de motoare, solicitînd intens, sub aspect termic și mecanic, în special coliviile rotorice. Numărul de porniri ce trebuie să fie suportate de motoare este variabil, depinzînd de natura acționării (utilajul acționat), frecvența avariilor ce pot apare în cadrul centralei, tipul motorului etc., astfel încît, statistic, s-a stabilit că reali-

* ICSIT-MTAE — Craiova

zarea unui număr de 5 000 de porniri este suficient pentru a carateriza fiabilitatea în exploatare.

În timpul fenomenului de pornire apare un proces tranzitoriu de scurtă durată în care se dezvoltă eforturi electrodinamice radiale și tangențiale ce solicită înfășurarea statorică, precum și încălziri puternice (șocuri termice) combinate cu forțe de natură vibratoare ce solicită colivia rotorului.

Aceasta face ca la o tratare superficială a proiectării motorului să apară defecțiuni ce conduc la scoaterea din funcțiune a acestuia (scurtcircuit în bobinaj, rupere de bare-rotor, etc.).

În scopul asigurării fiabilității necesare, s-a apelat la o soluție constructivă verificată în practică, în care capetele frontale ale bobinajului statoric sînt puternic consolidate cu ajutorul unor inele ce preiau forțele electrodinamice, ce apar la pornire și nu permit deformarea bobinelor.

Colivia rotorică este realizată din bare de cupru în formă de „T" îmbinate la capete cu inele de scurtcircuitare din cupru.

Secțiunea pătrată a părții inferioare a barei, este foarte favorabilă din punct de vedere al evitării concentrării eforturilor în zona de îmbinare bare-inel de scurtcircuitare, datorită faptului că prezintă un model de rezistență ridicat. Prin degajarea efectuată la partea superioară a barei la ieșirea din miezul magnetic al rotorului, se realizează o creștere a supleței racordului bare-inele de scurtcircuitare.

Barele-rotor sînt fixate în crestătură cu ajutorul unor pene trapezoidale din oțel, ce anulează efectul forțelor vibratoare, iar inelul de scurtcircuitare este forjat astfel ca prin sudarea barelor de inel în locașurile realizate, șocul termic ce apare la pornire să aibă o repartiție uniformă pe ansamblul coliviei, evitîndu-se în acest fel apariția la contactul bare-inel de scurtcircuitare de zone cu temperatură diferită. Pentru a prelua energia termică degajată, precum și pentru a proteja mecanic colivia, peste inelul de scurtcircuitare se introduce un bandaj din oțel antimagnetic (fig. 1).

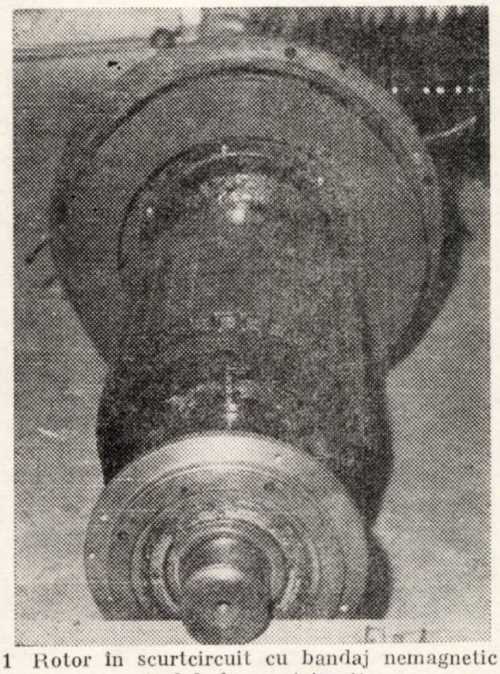


Fig. 1 Rotor în scurtcircuit cu bandaj nemagnetic peste inelul de scurtcircuitare.

Soluția prezentată a fost verificată în cadrul Laboratorului de Mare Putere al ICSIT MTAE, cu ajutorul unui dispozitiv ce simulează utilajul acționat și a unei instalații electronice dotată cu contor pentru realizarea ciclului de 5 000 porniri. Dispozitivul constă dintr-un volant echipat cu lagăre proprii și cuplat cu motorul printr-un cuplaj elastic (fig. 2).

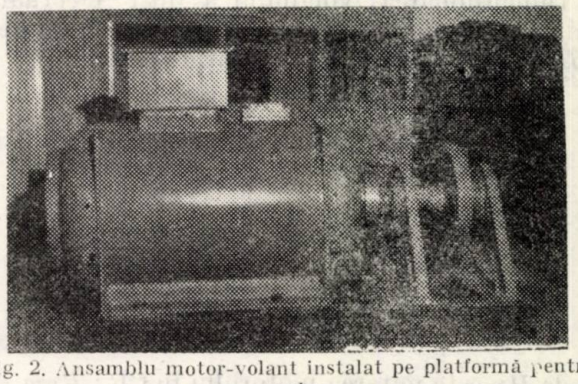


Fig. 2. Ansamblu motor-volant instalat pe platformă pentru probe.

Schema instalației utilizate pentru realizarea ciclului de porniri este redată în figura 3.

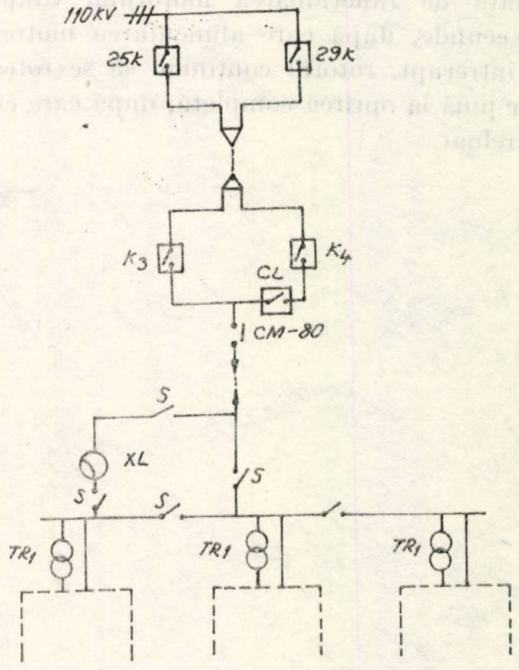


Fig. 3. Schema instalației utilizate pentru realizarea ciclului de porniri: 25k, 29k — întreruptoare protecție în stația de 110 kV; k_3, k_4 — întreruptoare alimentare stația de 6 kV; CL — cuplă longitudinală în stația de 6 kV (LMP); CM-80 — contactor 6 kV; S — separatoare trifazice 12 kV; XL — inductanță de reglaj pentru limitarea curentului de șoc; TR_1 — transformator ridicător de șoc 12 kV/12,8 kV.

Astfel, de la stația de 110 kV prin întreruptoarele de protecție de 25 k, 29k și întreruptoarele alimentare k_3 și k_4 din stația de 6kV a L.M.P., se face alimentarea cu tensiune prin intermediul contactorului CM-80 (ce are posibilitatea realizării a 120 000 conectări), a standului de probă.

Pentru limitarea curentului de șoc se poate folosi inductanța XL ce se găsește împreună cu separatoarele S în bucla de legătură dintre stația de 6kV și celula în care se află standul de probă. Alimentarea standului se realizează fie direct de la rețea, fie prin intermediul transformatoarelor de șoc TR1.

Dimensionarea volanului a fost efectuată luînd ca referință normele NEMA, valoarea GD^2 determinîndu-se după formula:

$$GD^2 = 0{,}4536 \cdot (0{,}305)^2 \left[24 \frac{H_p^{0,95}}{\left(\frac{R_{pm}}{1\,000}\right)^{2,4}} - 0{,}0685 \frac{H_p^{1,5}}{\left(\frac{R_{pm}}{1\,000}\right)^{1,8}} \right] (\text{daNm}^2),$$

unde Hp este puterea motorului în CP ; Rpm — turația sincronă a motorului la 60 Hz.

Ciclul pornire-oprire a constat dintr-o pornire prin comutarea directă la rețeaua de 6 kV urmată de funcționarea motorului timp de 10 secunde, după care alimentarea motorului s-a întrerupt, rotorul continînd să se rotească liber pînă la oprirea completă, după care ciclul s-a reluat.

Durata ciclului a fost astfel stabilită încît, încălzirea motorului să nu depășească valorile impuse de clasa de izolație a motorului.

Pe toată durata probelor încălzirea bobinajului statoric a fost supravegheată cu ajutorul termorezistențelor din platină, prevăzute în bobinaj.

După terminarea ciclului de 5 000 de porniri motorul s-a demontat și în urma unei minuțioase verificări, s-a constatat că bobinajul nu prezintă defecte de izolație, iar în colivia rotorului nu există întreruperi sau fisuri, motorul fiind apt de funcționare în continuare.

Concluzii

Condițiile de exploatare a motoarelor electrice de înaltă tensiune din cadrul centralelor termoelectrice sau nuclearo-electrice, impun ca acestea să facă față unor regimuri de porniri repetate ce produc solicitări intense de natură termică și electrodinamică.

Rezultatele favorabile obținute la standul de probă asupra soluției constructive adoptate, precum și buna comportare în exploatare în cadrul centralelor termoelectrice indică eficiența măsurilor tehnice adoptate urmare a eforturilor continue de ridicare a nivelului calitativ al motoarelor din Electroputere.

Cercetarea efectuată reprezintă un moment de referință pentru abordarea pe viitor a încercării unor motoare de diverse puteri, cu alte soluții constructive pentru colivia rotorică, care acționează mecanisme cu momente de inerție foarte mari.

Bibliografie

[1] Nema Mg—01.

[2] Revue generale de l'electricire 1966.

CZ 519.6 :621.316.54

CÎMP ELECTRIC
MODELARE NUMERICĂ
CURBE ECHIPOTENȚIALE

Program de calcul pentru studiul cîmpului electric în izolatorul-suport al camerelor de stingere cu electrod intermediar

SORIN HURDUBEȚIU *, CECILIA FILIMON **, LUCREȚIA SANDU **, DUMITRU CATRINA **

Introducere

Tendința actuală de exploatare completă a proprietăților electrice ale dielectricilor folosiți în construcția camerelor de stingere ale întreruptoarelor de înaltă tensiune impune cunoașterea cît mai aproape de realitate a solicitărilor cu care aceste materiale sînt confruntate. Date fiind particularitățile configurației menționate (caracter tridimensional, prezența dielectricilor multipli, electrozi cu potențial liber) analiza solicitărilor electrice impune în acest caz folosirea unei metode adecvate.

După cum s-a arătat într-o lucrare precedentă [1], studiul configurațiilor tridimensionale cu dielectrici multipli se poate face numai prin modelare numerică, folosind metoda sarcinilor echivalente [2] cu completările și dezvoltările ce se impun în astfel de situații [3].

În lucrarea de față se vor ilustra posibilitățile oferite de metoda sarcinilor echivalente în studiul configurațiilor ce prezintă și electrozi al căror potențial este liber, alături de electrozii de potențial impus și în prezența dielectricilor multipli. Pentru studiul unor astfel de configurații, în cadrul colaborării științifice dintre Institutul Politehnic București și Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Motoare, Transformatoare și Aparataj Electric Craiova [4] a fost elaborat programul de calcul ELPOL. În cele ce urmează se vor prezenta principiile care au stat la baza realizării acestui program de calcul și rezultatele obținute cu ajutorul acestuia în cazul izolatorului-suport al camerelor de stingere ale întreruptoarelor pentru 245 kV. În cazul practic analizat, programul ELPOL a furnizat atît distribuția spațială a curbelor echipotențiale, cît și potențialul căpătat de electrodul intermediar al izolatorului-suport.

1. Modelarea suprafețelor de separație în cazul dielectricilor multipli

Prezența mai multor medii dielectrice în cadrul unei aceleiași configurații ridică, în plus față de aspectele discutate în lucrarea precedentă [1], problema discontinuității permitivității în domeniul studiat.

Fie cazul general prezentat în figura 1 : domeniul este compus din subdomeniile Ω_u și Ω_v, de permitivități diferite ($\varepsilon_u \neq \varepsilon_v$) și separate de frontiera F_{uv} considerată ca o suprafață de conductivitate electrică superficială nulă.

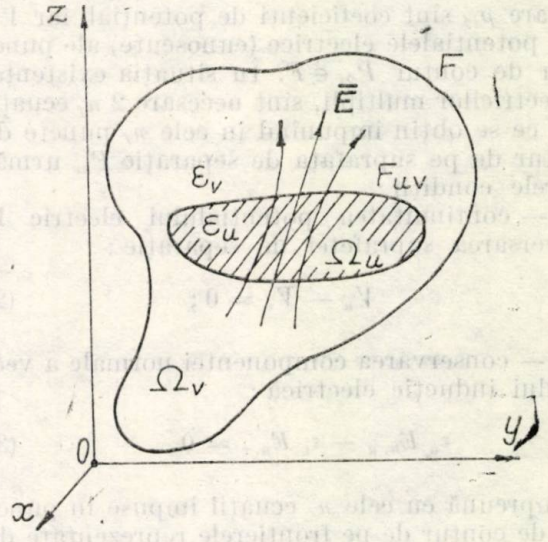


Fig. 1. Dielectrici multipli. Configurația generală.

Starea de polarizație reală a dielectricului „u" aflat în cîmpul electric exterior E poate fi descrisă, din punct de vedere electrostatic, prin sarcini electrice fictive (sarcini de polarizație). Efectul existenței suprafeței de separație F_{uv} fiind identic cu cel al unei distribuții superficiale de sarcină electrică pe acea suprafață [5], conduce la modificarea distribuției cîmpului electric existent în Ω în absența acesteia ($\varepsilon_u \neq \varepsilon_v$). Rezultă deci că, pe lîngă simularea distribuției superficiale a sarcinii electrice a electrozilor F_i, ce alcătuiesc frontiera F (vezi și [1]), se impune și simularea distribuției superficiale a sarcinii electrice de pe suprafața de separație F_{uv}. Aspectul nou ce apare este acela că, în situația în care cele n_4 puncte de calcul (de tip 4) se pot afla în general, în oricare din subdomenii, calculul și deci modelarea

* Institutul Politehnic București
** Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Motoare, Transformatoare și Aparataj Electric — Craiova.

trebuie să considere separat fiecare subdomeniu. Atunci cînd se doresc rezultate în puncte $P_4 \in \Omega_v$, suprafața de separație F_{uv} se va simula prin sarcini Q_{uv}, plasate în Ω_u și invers.

Dacă n_e este numărul sarcinilor electrice echivalente, folosite pentru simularea electrozilor, față de cazul dielectricului unic (cînd numărul total de sarcini, este $n_1 = n_e$) vor apare aici $2n_f$ necunoscute suplimentare. Acestea corespund sarcinilor Q_{uv} și Q_{vu}, plasate în Ω_u și respectiv în Ω_v, cărora li se atașează n_f puncte de contur pe suprafața F_{uv}.

Metoda sarcinilor echivalente presupune rezolvarea unui sistem de n_1 ecuații liniare cu n_1 necunoscute Q_j:

$$\sum_{j=1}^{n_1} p_{ij} Q_j = V_{2i}; \qquad i = \overline{1, n_1}, \tag{1}$$

în care p_{ij} sînt coeficienți de potențial, iar V_{2i} sînt potențialele electrice (cunoscute) ale punctelor de contur $P_{2i} \in F$. În situația existenței dielectricilor multipli, sînt necesare $2\,n_f$ ecuații noi, ce se obțin impunînd în cele n_f puncte de contur de pe suprafața de separație F_{uv} următoarele condiții:

a — continuitatea potențialului electric la traversarea suprafeței de separație:

$$V_u - V_v = 0; \tag{2}$$

b — conservarea componentei normale a vectorului inducție electrică:

$$\varepsilon_u E_{n,u} - \varepsilon_v E_{n,v} = 0. \tag{3}$$

Împreună cu cele n_e ecuații impuse în punctele de contur de pe frontierele reprezentate de electrozii de potențial electric cunoscut V_e:

$$V_{e,i} = V_e, \qquad i = \overline{1, n_e}, \tag{4}$$

se obțin deci $n_1 = n_e + 2n_f$ ecuații, care sub formă matriceală capătă aspectul prezentat în figura 2, unde Q_e reprezintă vectorul coloană al sarcinilor echivalente folosite pentru simularea electrozilor.

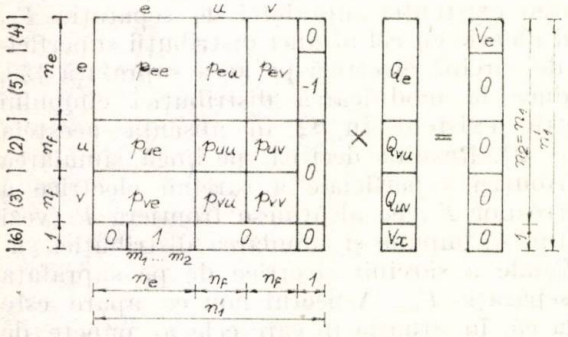


Fig. 2. Structura sistemului de ecuații în cazul dielectricilor multipli.

2. Modelarea electrozilor cu potențial liber

Se va prezenta în continuare modul în care metoda sarcinilor echivalente poate considera prezența, în cîmpul electric al electrozilor cu potențial electric cunoscut, a electrozilor al căror potențial nu este impus.

Fie cazul unui singur electrod cu potențial liber și V_x valoarea, necunoscută inițial, pe care acesta o capătă în prezența electrozilor al căror potențial electric este cunoscut. Fiind vorba de cazul unei configurații care prezintă și dielectrici multipli și folosind pentru simularea electrodului de potențial liber sarcinile ce sînt grupate n vectorul $\bar{Q}_x$, numerotate de la m_1 la m_2 și incluse în vectorul $\bar{Q}_e$ al sarcinilor echivalente pentru simularea electrozilor, numărul total al necunoscutelor este $n_1' = n_1 + 1$, ceea ce impune ca la structura prezentată în figura 2 să se adauge o nouă linie și o nouă coloană. Pentru fiecare din cele $m_2 - m_1 + 1$ puncte de contur ale electrodului examinat sînt valabile relații de tipul (1), care se vor scrie sub forma:

$$\sum_{j=1}^{n_1} p_{ij} Q_j - V_x = 0; \; i = \overline{m_1, m_2} \tag{5}$$

și astfel apare noua coloană.

Prezența necunoscutelor suplimentare V_x impune și adăugarea unei linii noi, ce se obține din condiția ca sarcina totală a electrodului de potențial liber să fie nulă:

$$\sum_{j=m_1}^{m_2} Q_j = 0. \tag{6}$$

Pe baza celor arătate rezultă că, în cazul în care alături de dielectrici diferiți există și un electrod al cărui potențial este fluctuant, modulul matematic al problemei poate fi rezumat sub forma prezentată în figura 3.

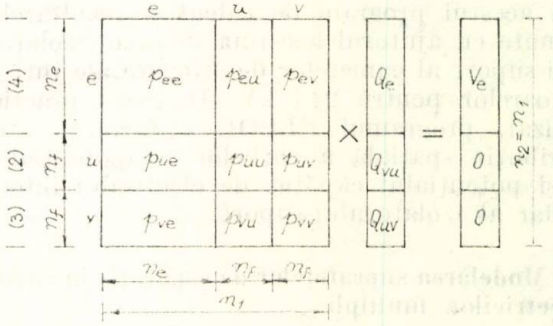


Fig. 3. Structura sistemului de ecuații în cazul dielectricilor multipli și a unui electrod cu potențial electric fluctuant.

Rezolvarea numerică a sistemului de n_1 ecuații furnizează atît valoarea celor n_1 sarcini echivalente folosite în modelarea configurației

cît și valoarea V_x a potențialului electric pe care îl capătă electrodul liber.

În continuare se poate aplica algoritmul autocorector de urmărire automată, punct cu punct, a traseului curbelor echipotențiale obținute prin intersectarea suprafețelor echipotențiale cu un plan secant oarecare [3].

Generalizînd procedeul descris mai sus, pentru a putea studia cazul general al K_m medii dielectrice diferite și k_e electrozi cu potențial fluctuant, a fost elaborat programul ELPOL. Structura acestuia urmărește schema logică tip a programelor avînd la bază metoda sarcinilor echivalente [1]. Programul fiind destinat utilizării de către proiectantul de aparataj electric de înaltă tensiune, a fost astfel elaborat încît, prin opțiunile făcute de către beneficiar cu ocazia introducerii datelor inițiale, să permită examinarea tuturor variantelor geometrice și electrice ce aparțin configurației de tip cameră de stingere cu electrod intermediar. Din aceleași motive programul a fost dotat și cu un sistem de generare a mesajelor de avertizare (SIGMA), care avertizează utilizatorul în situația utilizării incorecte a programului, oferindu-i informații privind instrucțiunea la care a avut loc oprirea programului și oferindu-i sugestii pentru continuarea rulării.

3. Aplicații

Pentru ilustrarea posibilităților oferite de programul de calcul ELPOL s-a analizat cazul izolatorului suport al camerei de stingere, prezentat în figura 4 și caracterizat de valorile $K_e = 1$ electrod liber ($F1$) și $K_m = 5$ medii dielectrice (aer, porțelan, SF6, sticlotextolit, SF6). Pentru simularea electrozilor și a frontierelor dintre dielectrici s-au folosit sarcini echivalente de tip segment și de tip inelar.

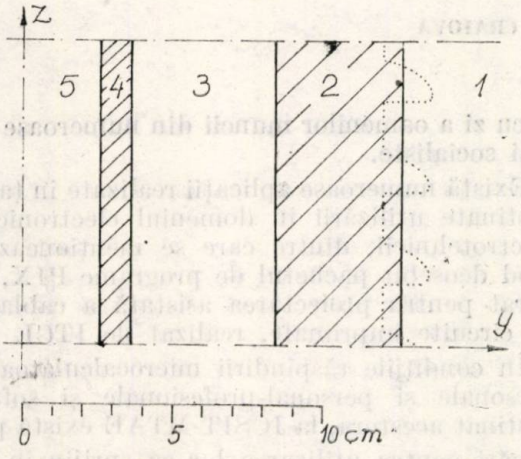


Fig. 4. Izolatorul suport al camerei de stingere. Secțiune transversală: *1* — aer; *2* — porțelan; *3* — SF6; *4* — sticlotextolit; *5* — SF6.

Programului ELPOL i se precizează condițiile de funcționare electrice (tensiune nominală, permitivități, valorile potențialelor, impuse) și geometrice (înălțimea față de sol $D3$, date gabaritice) ale configurației studiate și i se furnizează coordonatele sarcinilor, punctelor de contur, punctelor de control și a punctelor de calcul.

Programul realizează apoi în mod automat gestiunea sarcinilor echivalente (numerotare, identificarea tipului fiecărei sarcini echivalente și apelarea subprogramelor caracteristice acestuia), precum și identificarea, prin puncte, a traselui echipotențialelor electrice.

Rezultatele oferite de programul ELPOL sînt prezentate în figura 5 pentru tija de acționare T în poziția corespunzătoare contactului principal deschis (a), respectiv închis (b).

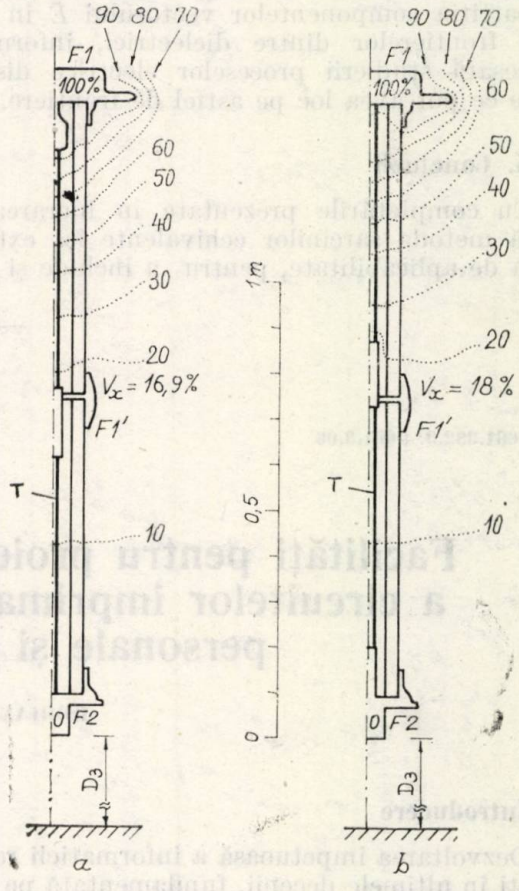


Fig. 5. Rezultate ELPOL pentru izolatorul suport al camerei de stingere: $F1$ — electrodul aflat sub tensiune (100%); $F2$ — electrodul de referință (0%); $F'1$ — electrodul intermediar (potențial fluctuant V_x%); T — tub de acționare a contactului mobil: a — contact principal deschis; b — contact principal închis.

Suportul camerei de stingere este realizat din două elemente izolante (porțelan) asamblate prin intermediul flanșei $F1$, ce constituie electrodul intermediar al configurației analizate.

Programului i s-a solicitat determinarea traseului echipotențialelor electrice corespunzătoare valorilor 10%, 20% ..., 90% (din tensiunea de funcționare a aparatului), precum și identificarea valorii potențialului (fluctuant, neimpus) al flanșei intermediare.

Din analiza rezultatelor obținute rezultă că solicitările electrice maxime sînt prezente pe elementul izolant superior. Comparînd cele două cazuri considerate (a și b) se observă că, în cazul corespunzător contactului principal închis (b) echipotențialele electrice sînt relativ mai apropiate de flanșa superioară $F1$, ceea ce arată că în această situație solicitările electrice ale izolatorului superior sînt mai mari decît în cazul (a). În ambele situații potențialul rezultat din calcul pentru flanșa intermediară a fost inferior valorii de 20% din tensiunea aplicată elementului analizat. Programul a furnizat și repartiția componentelor vectorului $\bar{E}$ în lungul frontierelor dintre dielectrici, informație necesară studierii proceselor electrice disruptive ce pot avea loc pe astfel de frontiere.

4. Concluzii

Cu completările prezentate în lucrarea de față metoda sarcinilor echivalente își extinde aria de aplicabilitate, pentru a include și configurațiile tridimensionale care conțin și electrozi al căror potențial este neimpus (fluctuant). Astfel de situații, frecvent întîlnite în cadrul instalațiilor electrice funcționînd la tensiune înaltă și care conțin electrozi intermediari (aparat de comutație, lanțuri de izolatoare etc.) pot fi studiate, într-o manieră mai economică decît analiza prototipului, prin modelare numerică în maniera prezentată mai sus.

Bibliografie

[1] *Hurdubețiu, S., Filimon, C.* Posibilități de studiu al cîmpului electric al întreruptoarelor de înaltă tensiune cu hexafluorură de sulf. In E.E.A. — Electrotehnica, *34*, nr. 8, 1986, p. 338—342.

[2] *Singer, H., Steinbigler, H., Weiss, P.* A charge simulation method for the calculation of high voltage field. In: IEEE Transactions PAS, 93, 1974, p. 1660—1668.

[3] *Hurdubețiu, S.* Contribuții la studiul determinării cîmpurilor electrice în instalațiile electrice de înaltă tensiune. Teza de doctorat, București, 1985.

[4] *Hurdubețiu, S., Golovanov, N.* Programe de calcul pentru determinarea configurației cîmpului electric al instalațiilor electrice prin metoda sarcinilor echivalente. Contract IPB — ICSIT, 1982.

[5] *Durand, E.* Electrostatique. Manson et Cie Editeurs, Paris, 1964.

CZ 681.332.3.+681.3.06

PROIECTARE ASISTATĂ GRAFICĂ 2D PE CALCULATOR CIRCUITE IMPRIMATE

Facilități pentru proiectarea și prelucrarea asistată a circuitelor imprimate utilizînd microcalculatoare personale și personal-profesionale

DORIAN DOGARU * — CRAIOVA

Introducere

Dezvoltarea impetuoasă a informaticii românești în ultimele decenii, fundamentată pe preocuparea constantă și consecventă a Partidului Comunist Român pentru asigurarea tuturor condițiilor necesare și impulsionarea activității desfășurate în acest important sector, a atras după sine pătrunderea aplicațiilor software, a tehnicii de calcul, în cele mai diverse sectoare ale economiei naționale. În acest fel, echipamentele de calcul au devenit o prezență cotidiană și un ajutor prețios în activitatea de zi cu zi a oamenilor muncii din numeroase unii tăți socialiste.

Există numeroase aplicații realizate în țară și destinate utilizării în domeniul electronicii și electrotehnicii, dintre care se menționează în mod deosebit pachetul de programe PIX, elaborat pentru proiectarea asistată a cablajelor de circuite imprimate, realizat de ITCI.

În condițiile răspîndirii microcalculatoarelor personale și personal-profesionale și softului destinat acestora, la ICSIT-MTAE există preocupări pentru utilizarea lor ca sprijin în proiectarea și realizarea cablajelor pentru circuite imprimate.

* ICSIT-MTAE — Craiova

1. Echipamentul folosit

Resursele hardware necesare, respectiv cele disponibile la ICSIT-MTAE sînt prezentate în tabelul 1 :

Tabelul 1

Minim necesar	Existent
Microcalculator compatibil IBM PC/XT, cu min 512 K. RAM, sub DOS (de exemplu FELIX-PC). Este de preferat (din considerente de viteză) să se folosească un coprocesor matematic.	IBM PC/XT Turbo 8 M h z I 8088 + 8087 640 K RAM sub MS-DOS 2.0, 3.1, sau PC—DOS 3.2
2 unităţi de Floppy 5' în formatul IBM 1 (360 K)	1 disc dur (tip Winchester) 20 Mo, 1 unitate Floppy 360 K
Display compatibil cu programului Autocad	IBM CGA (Color Graphics Adapter), Tecmar Graphics Board + Monitor Color
Plotter compatibil cu driverele programului Autocad	Plotter Hitachi 762 (format maxim A3, precizie 0,05 mm).
Digitizor sau tabletă grafică compatibilă cu driverele program. Autocad	Mouse Systems PC Mouse

2. Software

Resursele software necesare, respectiv cele efectiv utilizate la ICSIT-MTAE sînt prezentate în tabelul 2 :

Tabelul 2

Soft necesar	Folosit
O versiune a programului Autocad	Autocad 2.03 Autocad 2.15 Autocad 2.50
Compilator de meniuri şi programe pentru digitizorul utilizat	Mouse Systems Designer Pop-up Menus 4.20
Limbaj de programare de nivel înalt	Turbo-Pascal 3.0 (Borland) GW-Basic Microsoft (v. 3.4 Olivetti)

3. Metode de lucru pentru proiectarea asistată

Ideea de bază este utilizarea posibilităţilor de desenare în coordonate-obiect (deci la scara reală) oferite de programul Autocad pentru a permite proiectantului de cablaje realizarea în timp relativ scurt a mai multor variante pentru o schemă dată. Posibilităţile de manevrare a entităţilor din desen, oferite de programul amintit, permit modificarea în regim interactiv a unui desen existent, facilitînd astfel obţinerea pe un drum mai scurt a unor noi variante pentru un cablaj.

Pentru a adapta programul la specificul problemei abordate a fost realizată o bancă de desene conţinînd elemente des utilizate în componenţa plăcilor : pastile de diverse mărimi, socluri pentru circuite integrate cu ecart de 2,5 şi 2,54 mm şi număr diferit de pini, desene simbolice la scară pentru componente (rezistenţe, diode, condensatori, potenţiometre, circuite integrate etc.), conectori ş.a.m.d.

Pentru uşurarea manipulării acestor simboluri au fost realizate două programe de tip sistem de meniuri în cascadă pentru dagitizorul PC Mouse. Aceste meniuri, afişate permanent pe marginea zonei de desenare permit selectarea şi înserarea în desen a unor entităţi standard cu mare rapiditate utilizînd digitizorul.

Structura meniurilor realizate, combinată cu facilităţile de lucru în strat oferite de Autocad, permit proiectarea (într-un singur desen) unor cablaje multistrat cu pînă la 12 straturi.

La nivelul de bază, meniurile conţin liste de componente care, odată selecţionate cu digitizorul pot fi înserate în desen în poziţia dorită

și cu factorii de scară (după x și y) aleși de utilizator.

De asemenea, meniurile proiectate permit utilizarea a peste 80% dintre comenzile standard ale programului Autocad folosind digitizorul.

Utilizînd în acest mod programul Autocad, cablaje în formatul Europa 10 de complexitate medie pot fi proiectate de către un utilizator experimentat în 4—5 ore de lucru, rezultatul efectiv fiind desenul cablajului la scara 1 :1 sau 2 :1 realizat în tuș pe calc, după care se poate executa o fotocopie prin transparență.

Alte facilități includ : posibilitatea de a alege pasul de deplasare al cursorului grafic în coordonate reale (care pentru ușurință se ia egal cu o zecime de inci sau fracțiuni dintr-o zecime de inci) ;

— posibilitatea de a alege grosimea traseului de dus între două puncte oarecare ;

— posibilitatea de a lucra în ferestre (windows), combinată cu cea de panoramare ;

— posibilitatea de a insera text în desen ;

— etc.

În proiectarea efectivă a plăcii se poate porni de la formatul standard pe care se dorește realizat cablajul, adăugînd un conector adecvat și apoi testînd diferite variante de amplasare a pieselor. În figura 1 se prezintă un exemplu de cablaj, iar în figura 2 o hartă de componente, ambele realizate cu Autocad V 2.03.

4. Prelucrarea asistată

Această fază se referă la executarea automată, pe o mașină de găurit în coordonate a orificiilor în cablaje.

În acest scop au fost realizate programe care îndeplinesc funcțiile de mai jos.

a. În timpul execuției programului Autocad dublează fișierele Standard ale acestuia cu un fișier simplificat de text în care sînt reținute comenzile de desenare care prezintă interes (punctele de inserție ale soclurilor care vor coincide cu centrele găurilor, precum și raza orificiului de executat).

b. Pe baza fișierelor astfel executate se întocmește o listă de coordonate într-o formă corespunzătoare tipăririi la imprimantă.

c. Se întocmesc fișiere de coordonate și comenzi pentru mașina de găurit în coordonate, respectînd limbajul folosit pentru programarea acesteia.

d. Se transmit datele din fișierele realizate la punctul c, pe o cale de comunicație asincronă, cu o eșalonare corespunzătoare la mașina de prelucrat în coordonate.

e. Pentru plăci care au fost realizate cu o altă variantă de Autocad-versiunile nu sînt compatibile între ele la nivelul reprezentării interne.

Se execută conversia desenului între cele două versiuni de Autocad, trecînd prin formatul extern (se creează fișiere în format extern folosind comenzile DXFOUT). Deoarece versi-

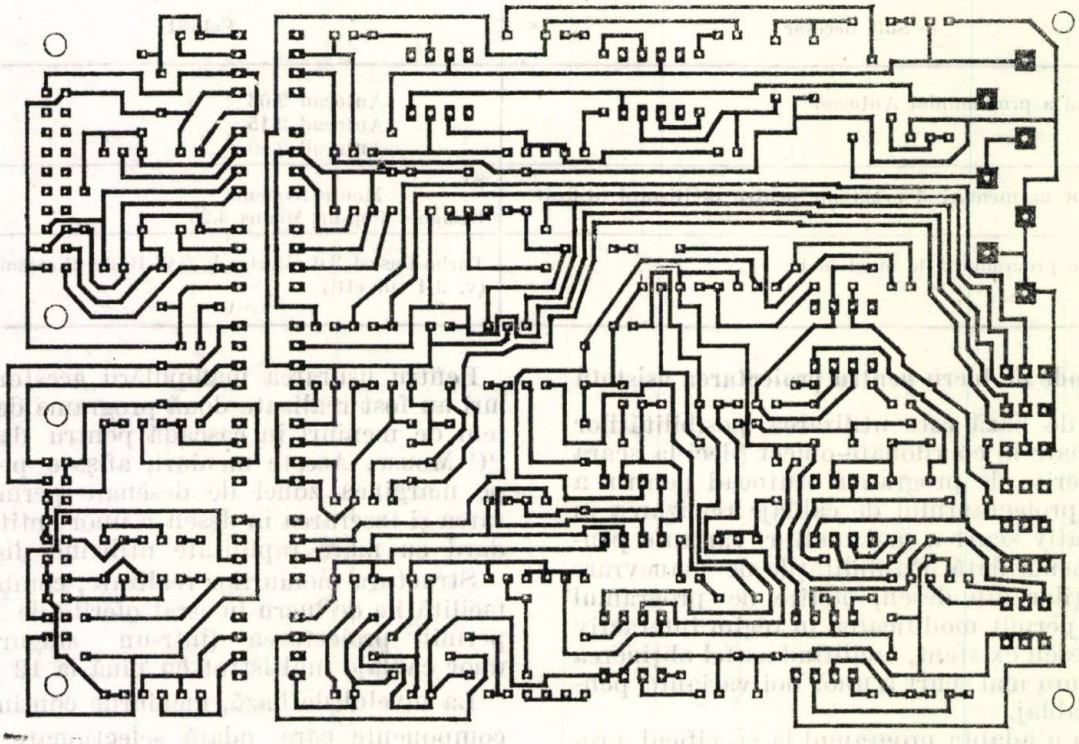


Fig. 1. Exemplu de cablaj.

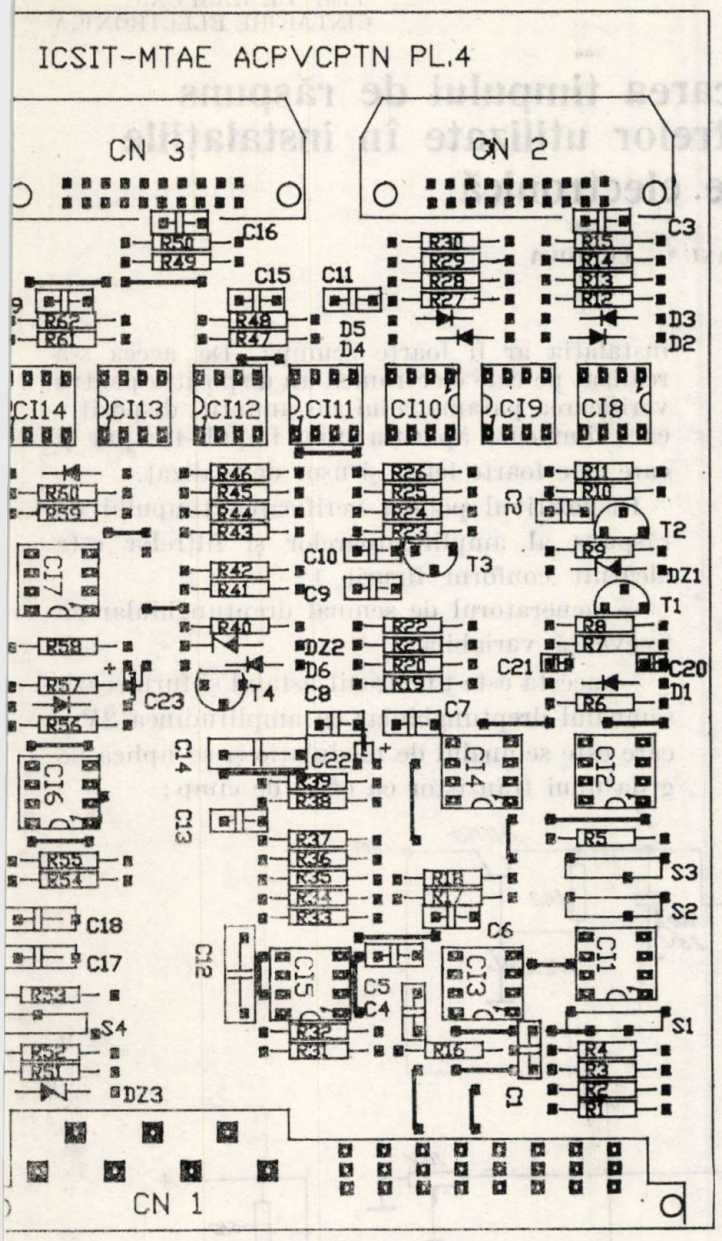


Fig. 2 Hartă de componente.

unile nu sînt perfect compatibile nici la nivelul formatului extern, un program execută separarea header-ului fișierului DXF de corpul fișierului, apoi realizează un header corespunzător versiunii în care dorim să trecem desenul.

Dacă se tratează simultan un grup de fișiere, atunci combinarea headerelor cu corpurile se poate face simplu prin concatenare într-un batch-job sub sistemul de operare, de forma: 1 > 2 (unde 1 și 2 sînt parametrii atașați numelui de batch-job și reprezintă denumirea fișierelor header, respectiv corp).

Citirea în editorul de desene se face imediat după intrarea în editor prin comanda DXFIN. f. (Pentru plăci care nu au fost realizate cu o variantă modificată de Autocad).

Se pot realiza fișierele de comandă pentru mașina de găurit în coordonate pornind de la fișierele standard DXF create de Autocad.

5. Elaborarea documentației

Programul Autocad permite și elaborarea unei documentații adecvate pentru realizarea plăcuțelor, sub forma unor desene în formatele STAS A3 și A4 cu tabel de componență, precum și a unor hărți de componente elaborate în pînă la 16 culori.

Datorită utilizării echipamentelor amintite, precum și a unor elemente standard de desen (indicator, format, cap și linie de tabel și text, cuvinte des folosite ca „Rezistor", „Condensator" etc.), elaborarea documentației complete pentru o placă este realizabilă în cîteva ore.

6. Concluzii

Fără a automatiza complet procesul de proiectare a cablajelor pentru circuite imprimate, introducerea noului mod de lucru a contribuit la creșterea productivității muncii (în condițiile unei producții de unicate și serie mică) de 6 pînă la 10 ori, permițînd totodată obținerea unor rezultate calitativ superioare față de elaborarea manuală și de o calitate constantă. Se menționează că, prin ameliorări succesive și instruire corespunzătoare a personalului specializat în proiectarea de cablaje productivitatea muncii în acest domeniu poate fi sporită simțitor.

Bibliografie

[1] * * * Autocad v. 2.03 Owner's Manual Autodesk InC. 1984.
[2] * * * PC Mouse Setup Users'Guide. Mouse Systems Comp. Santa Clara, California 1985.
[3] * * * PC Mouse Reference Manual v. 4.20. Mouse Systems Comp. Santa Clara, California 1986.
[4] * * * Turbo Pascal v.3.0 Reference Manual. Borland International, Scotts Valley, California 1985.
[5] * * * MS. DOS 3 10 User's Guide, Microsoft Corp Revised. By Bull Micral 1985.
[6] * * * Hitachi 672 Graph Plotter Instructions Handbook. Hitachi Corp. 1986.

CZ 681.317.79

TIMP DE RĂSPUNS
CÎNTĂRIRE ELECTRONICĂ

Dispozitiv pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor și filtrelor utilizate în instalațiile de cîntărire electronică

DOREL BERCEANU * — CRAIOVA

Lucrarea prezintă realizarea unui dispozitiv pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor și filtrelor utilizate în instalațiile de cîntărire electronică, dat fiind faptul că realizarea unui impuls (șoc) treaptă nu este posibilă cu mijloace mecanice.

Timpul de răspuns al amplificatoarelor și filtrelor utilizate în instalațiile de cîntărire electronică, precum și în instalațiile de măsurare a tracțiunii în bandă de oțel, este un parametru important impus prin tema de proiectare sau cerut de beneficiar.

Pentru verificarea acestui parametru ar fi nevoie de o instalație mecanică specială, deoarece se impune realizarea unui impuls-treaptă asupra traductorului fără distrugerea lui, iar instalația ar fi foarte scumpă. De aceea s-a realizat pe cale electronică un dispozitiv pentru verificarea parametrului sus-amintit, dispozitiv care simulează apariția unui impuls-treaptă și care este foarte ieftin și ușor de realizat.

Dispozitivul pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor și filtrelor este alcătuit conform figurii 1:

— generatorul de semnal dreptunghiular cu frecvență variabilă;

— acesta este un circuit astabil și furnizează semnalul dreptunghiular cu amplitudinea $2V_{v.v}$ care este semnalul de modulație și se aplică pe grila unui tranzistor cu efect de cîmp;

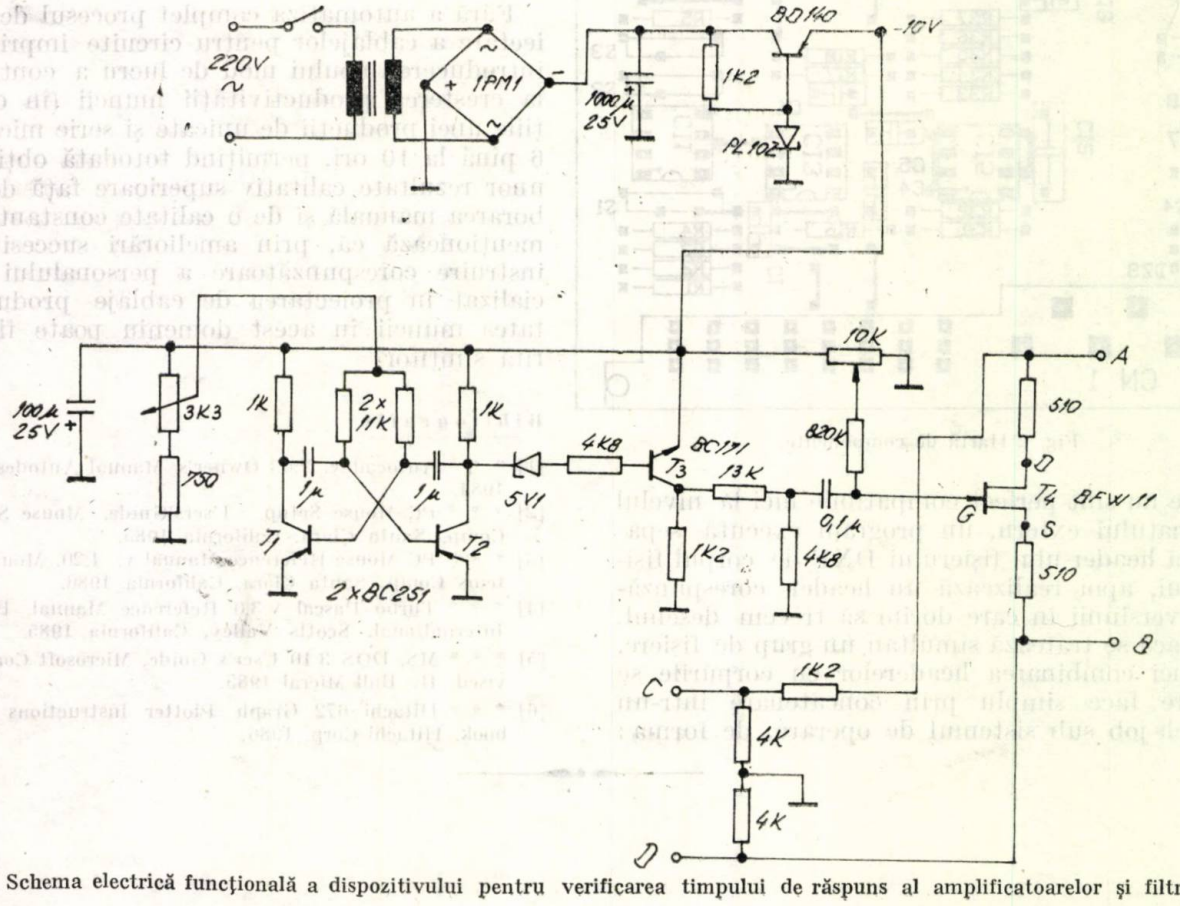


Fig. 1. Schema electrică funcțională a dispozitivului pentru verificarea timpului de răspuns al amplificatoarelor și filtrelor.

* ICSIT-MTAE — Craiova

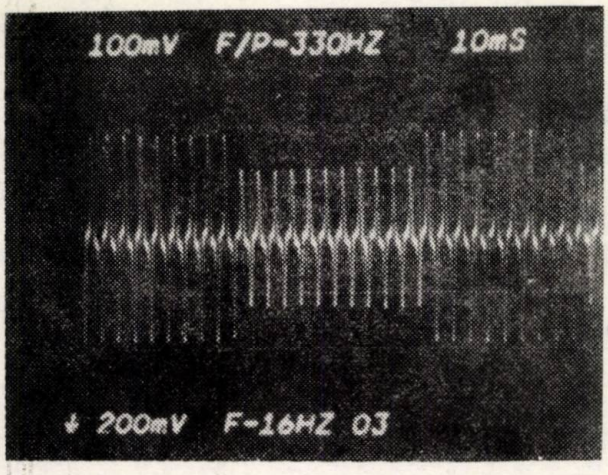


Fig. 2. Oscilograma formei de undă aplicată amplificatorului sau filtrului al cărui timp de răspuns se cere verificat.

În figura 2 este prezentată oscilograma formei de undă aplicată amplificatorului sau filtrului al cărui timp de răspuns se cere verificat, în care frecvența de modulație este 16Hz, iar frecvența purtătoare 330Hz.

Dispozitivul se utilizează intercalîndu-l între traductorul aferent instalației de cîntărire electronică și amplificatorul (filtrul) acesteia, al cărui timp se cere determinat (fig. 3) :

— bornele C,D — este aplicat semnalul purtător provenit de la traductor;

— bornele A,B — este aplicat semnalul purtător provenit de la traductor;

— bornele C,D — este aplicat semnalul purtător provenit de la traductor;

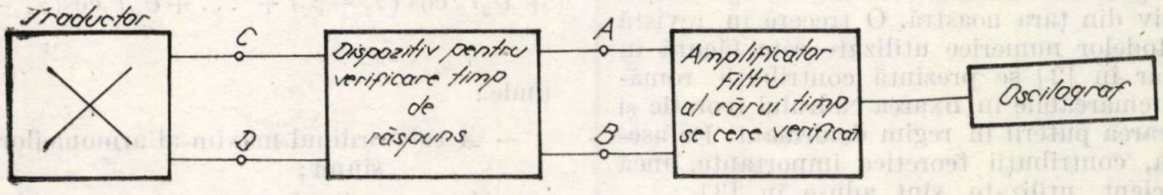


Fig. 3. Schema-bloc de măsură.

— bornele A,B — este conectată intrarea filtrului sau amplificatorului al cărui timp de răspuns se cere verificat.

La ieșirea filtrului sau a amplificatorului este conectat osciloscraful. În figura 4 este prezentat un exemplu de oscilogramă pentru determinarea timpului de răspuns la frecvența de modulație de 16 Hz și purtătoarea 330Hz pentru instalația de măsurare a tracțiunii în banda de oțel.

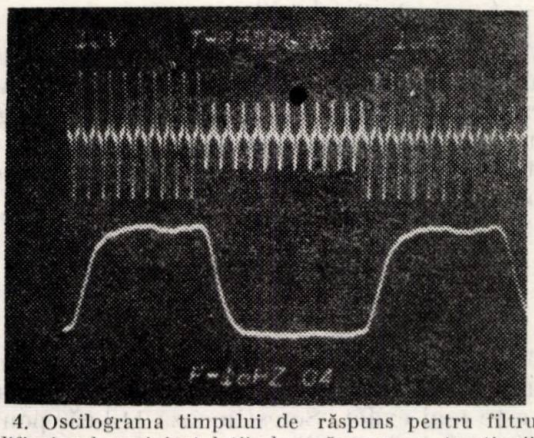


Fig. 4. Oscilograma timpului de răspuns pentru filtrul și amplificatorul unei instalații de măsurare a tracțiunii în banda de oțel.

— modulatorul care este un TEC-J pe care se aplică semnalul purtător cu frecvența cuprinsă între 330 Hz și 1 000 Hz. Între drenă și sursă tranzistorul cu efect de cîmp se comportă ca o rezistență a cărei mărime este controlată de tensiunea aplicată pe grilă;

— sursa de tensiune continuă stabilizată, necesară alimentării montajului, formată dintr-un tranzistor-serie-regulator, elementul de referință o diodă Zener, o punte redresoare, care furnizează tensiune continuă—10Vc.c.

Caracteristicile tehnice ale dispozitivului sînt :

— frecvența de modulație proprie 1 — 54 Hz;

— frecvența purtătoare 330—1 000 Hz;

— alimentare : rețea 220 V, 50 Hz, tensiune continuă stabilizată —10V c.c.

Dispozitivul prezentat, verifică și măsoară timpul de răspuns al filtrelor și amplificatoarelor utilizate în instalațiile de cîntărire electronică la impuls-treaptă, simulat electronic prin modulația purtătoarei de 330Hz. Această purtătoare reprezintă chiar frecvența curentului de excitație din instalațiile de cîntărire electronică. Timpul de răspuns care poate fi măsurat are valori cuprinse între 0—50 ms.

CZ 621.317.3

MĂSURAREA PUTERII ACTIVE
METODĂ NUMERICĂ DE MĂSURARE

Determinarea perioadei de eşantionare pentru măsurarea numerică a puterii active în regim periodic

EMIL GABER * — CRAIOVA

Introducere

Măsurarea numerică a mărimilor electrice se extinde în prezent rapid, odată cu răspîndirea şi scăderea costului microsistemelor de calcul şi a convertoarelor analog-numerice. Măsurarea puterii electrice — una dintre mărimile cele mai importante — este de mulţi ani obiectul preocupărilor unui mare număr de specialişti, inclusiv din ţara noastră. O trecere în revistă a metodelor numerice utilizate este făcută în [1], iar în [2] se prezintă contribuţii româneşti remarcabile în fixarea cadrului teoretic şi măsurarea puterii în regim deformant. De asemenea, contribuţii teoretice importante, încă insuficient, utilizate, sînt aduse în [3].

Dintre metodele numerice de măsurare a puterii active cea mai directă în cazul utilizării unui microsistem de calcul este cea a multiplicării eşantioanelor tensiunii şi curentului cu însumarea mediată pe o perioadă a produselor respective [1].

Prezenta lucrare îşi propune să determine perioada de eşantionare în funcţie de numărul armonicilor semnalelor de tensiune şi curent, pentru obţinerea unei valori exacte a puterii în regim deformant, în cazul unui spectru de frecvenţă finit al semnalelor respective.

1. Relaţia de calcul a perioadei de eşantionare

În regim nesinusoidal periodic de perioadă T tensiunea şi curentul au în general un spectru de frecvenţă infinit :

$$u'(t) = U_0 + \sum_{a=1}^{\infty} \sqrt{2} U_a \sin (a\omega t + \alpha_a),$$

$$i'(t) = I_0 + \sum_{b=1}^{\infty} \sqrt{2} I_b \sin (b\omega t + \beta_b).$$

În cazul măsurătorilor la frecvenţa industrială armonicile U_a, I_a scad în amplitudine cu frecvenţa. Dacă neglijăm componentele sub o anumită valoare, spectrele u şi i devin finite :

$$u(t) = U_0 + \sum_{a=1}^{A} \sqrt{2} U_a \sin (a\omega t + \alpha_a),$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{b=1}^{B} \sqrt{2} I_b \sin (b\omega t + \beta_b). \tag{1}$$

Valoarea puterii active, calculată teoretic pentru semnalele (1) este :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T ui\,dt = U_1 I_1 \cos (\alpha_1 - \beta_1) +$$

$$+ U_2 I_2 \cos (\alpha_2 - \beta_2) + \ldots + U_J I_J \cos(\alpha_J - \beta_J), \tag{2}$$

unde :

- A este ordinul maxim al armonicilor tensiunii ;
- B — ordinul maxim al armonicilor curentului ;
- J = min (A, B). (3)

Metoda numerică de măsură a puterii active analizată în continuare constă în prelevarea pe durata unei perioade la intervale de timp egale a cîte N eşantioane u_k şi i_k ale tensiunii şi curentului şi calculul valorii medii a sumei produselor $u_k i_k$:

$$P' = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k i_k. \tag{4}$$

Cu cît numărul N al eşantioanelor este mai mare cu atît calculul puterii active cu relaţia (4) este mai exact. Se estimează [1] că, pentru frecvenţa industrială, procedeul conduce la erori acceptabile pentru un număr de eşantioane $N = 500 \ldots 600$, deci pentru perioade de eşantionare $T/N = 30 \ldots 40$ μs. Problemele ridicate de un număr mare de eşantioane, pe perioadă sînt evidente : necesitatea unui convertor analog-numeric rapid, durată mare de calcul conform (4). De aceea ar fi de dorit micşorarea lui N păstrînd eroarea de măsură a puterii în limite acceptabile.

În cele ce urmează se va arăta că în cazul unor spectre de frecvenţă finite ale tensiunii şi curentului, deci practic, în cazul tuturor măsurătorilor la frecvenţă industrială, puterea activă poate fi calculată exact cu relaţia (4) pentru un număr de eşantioane pe perioadă :

$$N > \frac{A + B}{2},$$

* ICSIT-MTAE — Craiova

dacă N este impar, sau:

$N > A + B$, dacă N este par și $N \neq 2(A + B)$.

Termenul „exact" se referă la faptul că în cazul spectrelor finite relațiile (2) și (4) conduc la același rezultat dar, bineînțeles, în cazul real rămîne o eroare de măsură a puterii determinată de armonicile superioare ordinelor A și B, care au fost neglijate.

Fie eșantioanele u_k și i_k luate la intervale de timp egale cu perioada de eșantionare $T_e = T/N$, începînd cu momentul t_0:

$$u_k i_k = \left[U_0 + \sum_{a=1}^{A} \sqrt{2}\, U_a \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right)\right]\left[I_0 + \sum_{b=1}^{B} \sqrt{2}\, I_b \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta b\right)\right] = U_0 I_0 + \sqrt{2}\, U_0 \sum_{b=1}^{B} I_b \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta_b\right) + \sqrt{2}\, I_0 \sum_{a=1}^{A} U_a \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right) + \sum_{a=1}^{A}\sum_{b=1}^{B} 2 U_a I_b \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right) \cdot \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta_b\right).$$

Conform (4) rezultă:

$$P' = U_0 I_0 + \frac{\sqrt{2}U_0}{N} \sum_{b=1}^{B}\sum_{k=1}^{N-1} I_b \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta_b\right) + \frac{\sqrt{2}\, I_0}{N} \sum_{a=1}^{A}\sum_{k=0}^{N-1} U_a \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right) + \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1}\sum_{\substack{a=1 \\ b=1}}^{A,B} 2 U_a I_b \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right) \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta_b\right) =$$

$$= U_0 I_0 + \frac{\sqrt{2}U_0}{N} \Sigma_1 + \frac{\sqrt{2}I_0}{N} \Sigma_2 + \frac{1}{N} \Sigma_3,$$

unde cu Σ_1, Σ_2, Σ_3 au fost notate sumele duble din expresia lui P'. Calculul acestor sume se face folosind relațiile trigonometrice:

$$\sin a + \sin(a + r) + \sin(a + 2r) + \ldots + \sin[a(N-1)r] = \frac{\sin\frac{Nr}{2} \sin\left[a + \frac{(N-1)r}{2}\right]}{\sin\frac{r}{2}},$$

$$\cos a + \cos(a + r) + \cos(a + 2r) + \ldots + \cos[a + (N-1)r] = \frac{\sin\frac{Nr}{2} \cos\left[a + \frac{(N-1)r}{2}\right]}{\sin\frac{r}{2}}. \qquad (5)$$

Rezultă:

$$\sum_{b=1}^{B} \frac{\sin 2\pi b \sin\left[b\omega t_0 + \alpha_b + \frac{(N-1)\pi kb}{N}\right]}{\sin\frac{\pi b}{N}} = 0$$

și deci $\Sigma_1 = 0$, cu condiția $\sin \pi b/N \neq 0$, care este îndeplinită pentru $N > B$.

Asemănător se deduce $\Sigma_2 = 0$. Ținînd seama de definițiile (3) și de faptul că spectrul este finit, rezultă că pentru $a > J$ una din mărimile U_a, I_a este zero. Rezultă:

$$\Sigma_3 = \sum_{k=0}^{N-1}\left[\sum_{a=1}^{J} 2 U_a I_a \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right)\sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \beta_a\right) + \sum_{\substack{a=1 \\ a\neq b}}^{A}\sum_{b=1}^{B} 2 U_a I_b \sin\left(a\omega t_0 + \frac{2\pi ka}{N} + \alpha_a\right) \sin\left(b\omega t_0 + \frac{2\pi kb}{N} + \beta_b\right)\right].$$

După descompunerea produselor în sume de sinus și aplicarea relațiilor (5) urmează:

$$\Sigma_3 = \sum_{a=1}^{J} U_a I_a \cos(\alpha_a - \beta_a) - \sum_{a=1}^{J} U_a I_a \frac{\sin 2a\pi \cdot \cos\left[2a\omega t_0 + \alpha_a + \beta_a + \frac{(N-1)2a\pi}{N}\right]}{\sin\frac{2a\pi}{N}} -$$

$$- \sum_{\substack{a=1 \\ a\neq b}}^{A}\sum_{b=1}^{B} U_a I_b \frac{\sin 2(a+b)\pi \cos\left[(a+b)\omega t_0 + \alpha_a + \beta_b + \frac{(N-1)(a+b)\pi}{N}\right]}{\sin\frac{(a+b)\pi}{N}} \qquad (6)$$

$$+ \sum_{\substack{a=1 \\ a\neq b}}^{A}\sum_{b=1}^{B} U_a I_b \frac{\sin 2(a-b)\pi \cos\left[(a-b)\omega t_0 + \alpha_a - \beta_b + \frac{(N-1)(a-b)\pi}{N}\right]}{\sin\frac{(a-b)\pi}{N}}.$$

Cele trei fracţii din relaţia (6) devin zero, dacă numitorii sînt diferiţi de zero :

$$\sin \frac{2a\pi}{N} \neq 0, \qquad (a \leqslant J), \tag{7}$$

$$\sin \frac{(a \pm b)\pi}{N} \neq 0, \qquad (a \leqslant A\,;\ b \leqslant B). \tag{8}$$

Relaţia (7) este îndeplinită, dacă $\frac{2a\pi}{N} < 2\pi$, deci, dacă se alege N astfel :

$$\begin{aligned} N &> J, \\ N &\neq 2J. \end{aligned} \tag{9}$$

Relaţiile (8) sînt îndeplinite dacă pentru orice $1 \leqslant a \leqslant A$ şi $1 \leqslant b \leqslant B$:

$$\frac{(a+b)\pi}{N} < 2\pi, \quad \frac{(a+b)\pi}{N} \neq \pi. \tag{10 a}$$

$$\frac{|a-b|\pi}{N} < 2\pi, \quad \frac{|a-b|\pi}{N} \neq \pi. \tag{10 b}$$

Relaţiile (10) sînt îndeplinite dacă :

$$\frac{(A+B)\pi}{N} < 2\pi, \tag{11 a}$$

$$|a \pm b| \neq N. \tag{11 b}$$

Dacă se consideră cazul practic al semnalelor care conţin armonici impare, relaţia (11b) este verificată pentru orice N impar, deci :

$$N > \frac{A+B}{2}, \quad (N \text{ impar}). \tag{12}$$

În cazul general, cînd există armonici de ordin par şi impar, iar N poate lua orice valoare număr natural, relaţia (11b) este satisfăcută pentru :

$$N > A + B, \quad (N \text{ par sau impar}), \tag{13}$$

valoare care asigură şi condiţia (11a)

Pe baza relaţiilor (12) şi (13) se poate scrie valoarea perioadei de eşantionare T_e pentru calculul puterii active :

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{2T}{A+B}, \quad (N \text{ impar}), \\ T_e &= \frac{T}{A+B}, \quad (N \text{ par sau impar}). \end{aligned} \tag{14}$$

Calculul puterii active se poate face şi pe baza relaţiei (2), dacă au fost determinate, în prealabil, prin metoda transformatei Fourier rapide componentele spectrelor semnalelor $u(t)$ şi $i(t)$. Pentru aceasta, conform teoremei eşantionării, valoarea perioadei T_e trebuie să fie :

$$T_e \leqslant \frac{1}{2 \max(A, B)}. \tag{15}$$

Comparînd (15) cu (14) se observă că numărul de eşantioane în cazul utilizării relaţiei (2) este cel mult dublu celui necesar în relaţia (4). Avantajul, în ultimul caz, constă însă în utilizarea unui algoritm de calcul mult mai simplu şi, deci, timp mai scurt de calcul.

Dacă metoda determinării amplitudinii armonicilor tensiunii şi curentului nu este deci calea cea mai avantajoasă pentru măsurarea puterii active, ea este în schimb singura care permite calculul puterilor reactivă, deformantă şi aparentă în regim deformant.

2. Circuitul de comandă a eşantionării

Din (14) rezultă că frecvenţa generatorului de tact pentru comanda eşantionării trebuie să urmărească frecvenţa semnalelor $u(t)$, $i(t)$:

$$f_e = \frac{(A+B)}{2}, \quad \text{pentru } N \text{ impar},$$

$$fe = (A+B)f, \quad \text{pentru } N \text{ par},$$

unde $fe = 1/Te$ iar $f = 1/T$.

Deoarece numărul de eşantioane trebuie să fie, în general, reglabil în funcţie de semnalul măsurat, schema generatorului de tact (fig. 1) va conţine un circuit de multiplicare cu un fac-

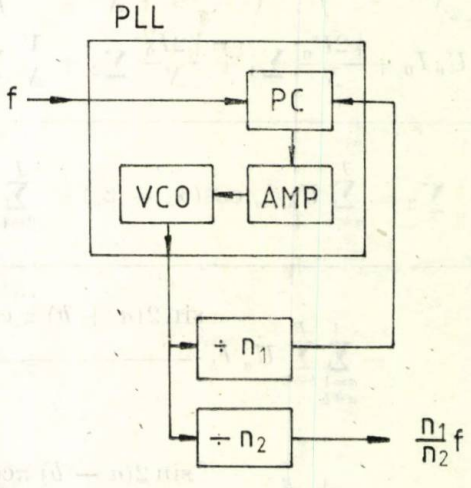


Fig. 1. Schema-bloc a generatorului de tact de eşantionare. PLL — buclă cu calare de fază; PC — comparator de fază; VCO — oscilator comandat în tensiune; AMP — amplificator; n_1, n_2 — divizoare de frecvenţă.

tor n_1 al frecvenței semnalului urmat de un circuit divizor de fecvență programabil (factor de divizare n_2).
Rezultă:

$$N = \frac{n_1}{n_2},$$

unde n_1 se va lua de o valoare fixă pentru ușurința realizării multiplicatorului de frecvență, iar n_2 va fi reglat pentru obținerea numărului de eșantioane dorit. De exemplu, pentru $n_1 = 2.5.7.9 = 360$ rezultă, pentru N, valorile din tabelul 1.

Tabelul 1

Exemplu de alegere a numărului de eșantionări pe perioadă

N	3	5	7	9	15	18	21	35	45	63	105
n_2	215	126	90	70	42	35	30	18	14	10	6

Valorile lui N au fost alese impare pentru a rezulta valoarea minimă a frecvenței de eșantionare necesare.

Schema de principiu a generatorului de tact este dată în figura 2. Deoarece factorul de divizare trebuie să fie reglabil, divizorul de frecvență n_2 a fost realizat cu divizoarele MMC 4017 cu factor de divizare reglabil prin comutatoare. În figură este prezentat cazul $n_2 = 3.3.2$. pentru care rezultă numărul de eșantionări $N = 35$. Divizorul de frecvență n_1 are factorul de divizare fix $n_1 = 630$ și include, la ieșire, un circuit bistabil pentru obținerea unui factor de umplere 1/2 necesar bunei funcționări a circuitului PLL (BE 565).

Pentru $N = 35$ se poate măsura puterea, de exemplu pentru cazul cînd tensiunea are armonici semnificative pînă la ordinul 49, iar curentul pînă la ordinul 19 inclusiv. În majoritatea măsurătorilor la frecvența industrială spectrul de frecvență al tensiunii și curentului are componente nesemnificative peste aceste ordine. Existența în rețelele electrice a echipamentelor de conversie a energiei (redresoare cu tiristoare, choppere etc.), duce la extinderea spectrului pînă la armonici de ordinul 60 pentru tensiune și 30 pentru curent [4]. În acest caz valoarea $N = 63$ este acoperitoare, iar circuitul din figura 2 trebuie completat cu încă un etaj divizor de frecvență (MMC 4017) pentru fiecare din etajele n_1, n_2.

3. Concluzii

Măsurarea puterii active prin metoda prelucrării de către un sistem de calcul a semnalelor eșantionate de tensiune și curent este cu atît mai precisă, cu cît perioada de eșantionare este mai mică. Mărirea numărului de eșantioane prelevate într-o perioadă (N) necesită însă conver-

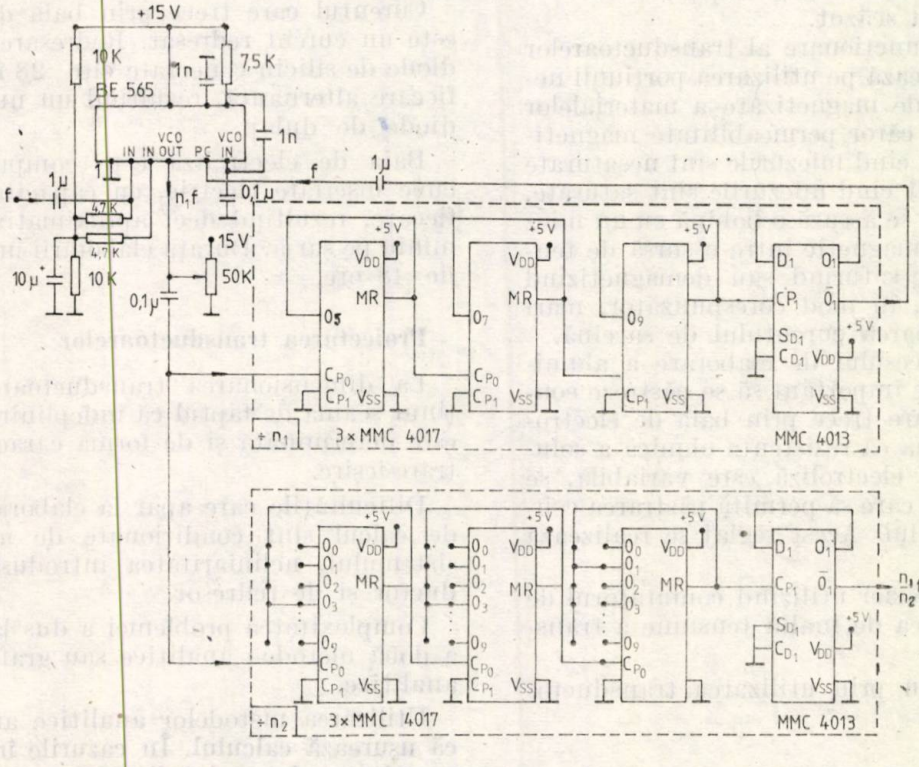


Fig. 2. Exemplu de realizare a schemei de principiu a generatorului de tact de eșantionare pentru

toare *A-D* rapide și timp de calcul mare; de aceea este de dorit alegerea valorii minime a lui *N*. Se demonstrează că, în cazul cînd tensiunea și curentul au spectre de frecvență finite numărul *N* trebuie să fie mai mare decît suma ordinelor maxime ale armonicilor acestor semnale, iar în cazul practic al semnalelor care conțin doar armonici impare *N* trebuie să fie mai mare decît semisuma respectivă. Aceste relații permit alegerea unei valori impare $N = 60...70$ pentru marea majoritate a măsuătorilor la frecvența industrială. Se prezintă, de asemenea, schema unui circuit de generare a impulsurilor de comandă a eșantionării care urmărește frecvența semnalului măsurat.

Bibliografie

[1] *Pop, E., Stoica, V.* Principii și metode de măsurare numerică. București, Ed. Facla 1977.
[2] *Antoniu, I.S.* Bazele Electrotehnicii. București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1974.
[3] *Pop, E.* Erori produse de eșantionare la măsurarea puterii. Bul. Științific al Inst. Politeh. Timișoara, Seria Electrotehnică. Tom 18 (32) fasc.2/1973.
[4] *McGranaghan, M.F.*, ș.a. Measuring voltage and current harmonics on distribution systems. IEEE Trans. on PAS No. 7 July 1981.

CZ 621.375.2 :621.318

TRANSDUCTOR MAGNETIC
CURBĂ DE MAGNETIZARE
ELABORAREA ALUMINIULUI

Utilizarea reactanțelor saturabile la reglarea fină a curentului în instalațiile de elaborare a aluminiului

SILVIU TIULESCU, DORU NEDELCUȚ, GHEORGHE OANȚĂ * — CRAIOVA

Generalități

Utilizarea transductoarelor magnetice în schemele de reglare a curentului este impusă de:

— durata de serviciu îndelungată;
— întreținere extrem de simplă;
— preț de cost scăzut.

Principiul de funcționare al transductoarelor magnetice se bazează pe utilizarea porțiunii neliniare a curbei de magnetizare a materialelor feromagnetice, a căror permeabilitate magnetică este mai mare cînd miezurile sînt nesaturate și care scade mult cînd miezurile sînt saturate.

De aceea, dacă se așează o bobină cu un miez din material feromagnetic între o sursă de tensiune și sarcină, saturînd sau demagnetizînd miezul, se poate, în mod corespunzător, mări sau micșora valoarea curentului de sarcină.

În timpul procesului de elaborare a aluminiului, este foarte important să se păstreze constant curentul care trece prin baia de electroliză. Ținînd seama că rezistența ohmică a soluției din baia de electroliză este variabilă, se impune un reglaj care să permită păstrarea constantă a curentului. Acest reglaj se realizează în două feluri:

— un reglaj grosier utilizînd comutatorul de reglaj de pe partea de înaltă tensiune a transformatorului;

— un reglaj fin prin utilizarea transductorului magnetic.

Avînd în vedere particularitățiile sarcinii se impune folosirea unei scheme trifazate de conectare. Aceasta permite asigurarea unei sarcini uniforme și totodată duce la mărirea puterii de ieșire pe unitatea de volum, permițînd o bună utilizare a materialului magnetic.

Curentul care trece prin baia de electroliză este un curent redresat. Redresarea se face cu diode de siliciu conectate cîte 28 în paralel pe fiecare alternanță, rezultînd un număr de 336 diode de dulap.

Baia de electroliză este compusă din 176 cuve înseriate electric, cu capacitate de 0,9 t fiecare, rezultînd deci aproximativ 160 t aluminiu pe șarjă. Durata elaborării unei șarje este de 48 ore.

Proiectarea transductoarelor

La dimensionarea transductoarelor trebuie ținut seama de faptul că îndeplinirea reglajului este determinată și de forma caracteristicii intrare-ieșire.

Dificultățile care apar la elaborarea metodei de calcul sînt condiționate de neliniaritatea sistemului, neliniaritatea introdusă de transductor și de redresor.

Complexitatea problemei a dus la elaborarea a două metode: analitice sau grafice și grafo-analitice.

Utilizarea metodelor analitice are avantajul că ușurează calculul. În cazurile în care apare necesitatea determinării precise a caracteristicii

* ICSIT-MTAE — Craiova

intrare-ieșire, metodele analitice necesită introducerea unor corecții care complică mult calculul.

Metodele grafo-analitice se bazează pe folosirea curbelor de magnetizare și de demagnetizare. Obținerea experimentală a acestora este un proces foarte laborios. De aceea caracteristicile de calcul nu pot fi obținute pe un număr suficient de mare de modele și, de regulă, nu sînt suficient de sigure. De asemenea, apar dificultăți mari legate de generalizarea rezultatelor obținute.

Precizia calculului este condiționată de următorii factori :

— dispersia curbelor de magnetizare ale diferitelor loturi de material magnetic ;

— strictețea respectării tehnologiei de recoacere și confecționare a miezului ;

— dispersia caracteristicii redresoarelor.

Pentru calculul de dimensionare al transductoarelor trebuie cunoscute următoarele date :

— rezistența de sarcină ;

— curentul de sarcină ;

— tensiunea sarcinii.

Se calculează puterea nominală a transductoarelor cu relația :

$$P_N = R_S \cdot I_N^2 = U_N - I_N. \qquad (1)$$

Pentru o mai bună utilizare a transductorului este necesar ca porțiunea liniară a caracteristicii intrare-ieșire să fie cît mai întinsă. Aceasta se realizează alegînd un coeficient $K_l = \frac{I_N}{I_M} \cdot \frac{I_N}{I_M}$ cît mai mare. Valorile recomandate sînt $K_J > 36$, unde I_N este curentul nominal de sarcină, iar I_M, curentul minim al porțiunii liniare (fig. 1).

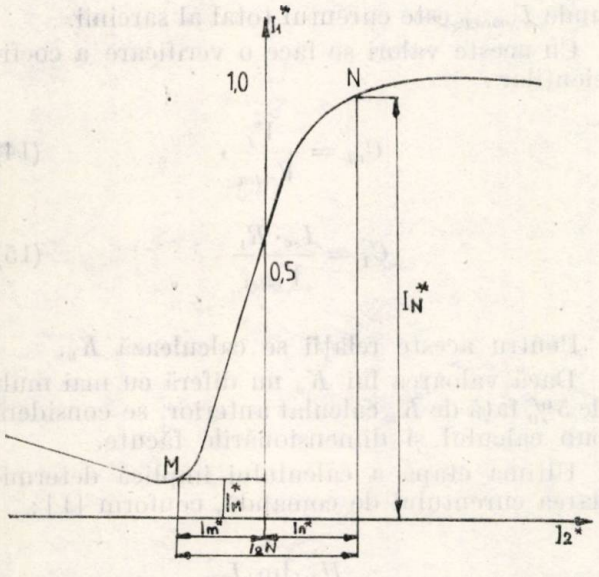


Fig. 1. Determinarea mărimilor ce caracterizează transductorul.

Pentru ca punctul de funcționare (N) să se afle pe porțiunea liniară a caracteristicii i-e, literatura de specialitate recomandă $\varepsilon = 1{,}5$. Pentru construcția miezului se recomandă folosirea tablei de transformator laminată la rece. Prin încercări s-a ajuns la concluzia că, tabla *M3H* dă rezultatele cele mai bune.

Se aleg din curba de magnetizare valorile lui Bo și Nu corespunzătoare cotului curbei de magnetizare.

Se calculează HN avînd în vedere cazul particular al curentului de sarcină redresat.

HN este intensitatea cîmpului magnetic al înfășurării de sarcină la curentul nominal de sarcină, necesară ca în punctul N al caracteristicii tip să se obțină valoarea dată a lui K_l.

Se calculează în continuare coeficienții C_r și C_1.

C_r caracterizează tipul redresoarelor. Cu cît căderea de tensiune este mai mică în sensul de conducere a curentului, și cu cît este mai mare valoarea permisă a tensiunii inverse a redresorului cu atît este mai mic C_r :

$$\text{După [1]}, \quad C_r = \frac{U_c}{U_{ad}}. \qquad (2)$$

C_1 — determinat de putere și condițiile de răcire ale amplificatorului :

$$\text{conform [1]}, \quad C_1 = \frac{I_{scmed} \cdot R_1}{U}, \qquad (3)$$

r_1 este rezistența căii de curent primare :

$$r_1 = \frac{1_1 \cdot W_1}{57.100 \cdot S_{cu}}, \qquad (4)$$

$$I_{scmed} = \frac{I_N}{I^*_{Nmed}}. \qquad (5)$$

Avînd acești coeficienți, se calculează K_{Umed} :

$$K_{Umed} = I^*_{Nmed}\,[0{,}9 - (gl + 2)C_r - C_1], \quad \text{conform [1]}. \qquad (6)$$

Volumul materialului magnetic

$$V_{Fe} = \frac{P_N \times 10^8}{4{,}44 \cdot \delta \cdot f \cdot H_N \cdot B_{om} \cdot K_{Umed}}. \qquad (7)$$

În cazul puterilor de ordinul sutelor de kilowați, se remarcă faptul că rezultă un volum mare de material activ.

La acest volum este deosebit de dificil de realizat un singur miez. Avînd în vedere că trebuie și o bună răcire, iar spațiul din cuva

transformatorului trebuie bine utilizat, se recomandă o construcție divizată. La alegerea dimensiunilor miezurilor trebuie avut în vedere următoarele :

— corelarea volumului rezultat din calcule cu volumul real ;

— tăierea din ruloul de tablă silicioasă să se realizeze cu pierderi minime ;

— respectarea unor proporții optime între diametrul interior și exterior. Această valoare se recomandă a fi $Dm/dm < 2{,}5$. Dacă valoarea raportului diametrului este mai mare decît 2,5, curbele se deformează atît de puternic încît, cu excepția unor cazuri speciale, nu mai este rațională executarea miezurilor (vezi fig. 2).

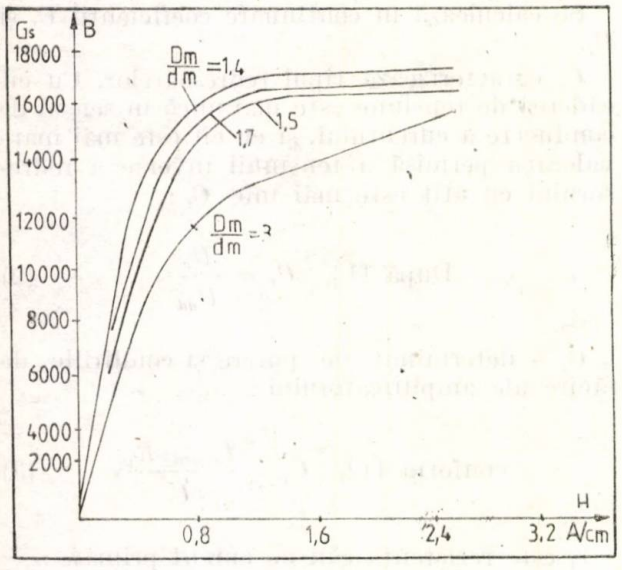


Fig. 2. Curbele de magnetizare ale miezurilor toroidale din bandă, ce se deosebesc prin valoarea raportului dintre diametrul exterior și cel interior.

Pentru aceste date se calculează coeficientul K_2 și I_{Nmed}, I_{2N} :

$$K_{rmed} = \frac{K_i}{I_{Nmed}} \cdot \varepsilon, \tag{8}$$

$$I_{Mmed} = \frac{I^*_{Nmed}}{K_i}, \tag{9}$$

$$I_{2N} = I^*_n - I^*_m \text{ (fig. 3).} \tag{10}$$

Se calculează tensiunea V a rețelei, care nu depinde de conectare :

$$V = 4{,}4\, f \cdot \delta \cdot s \cdot B_{med}, \tag{11}$$

unde s este secțiunea miezului.

Se calculează calea de curent din cupru impunînd o anumită densitate de curent, ținînd

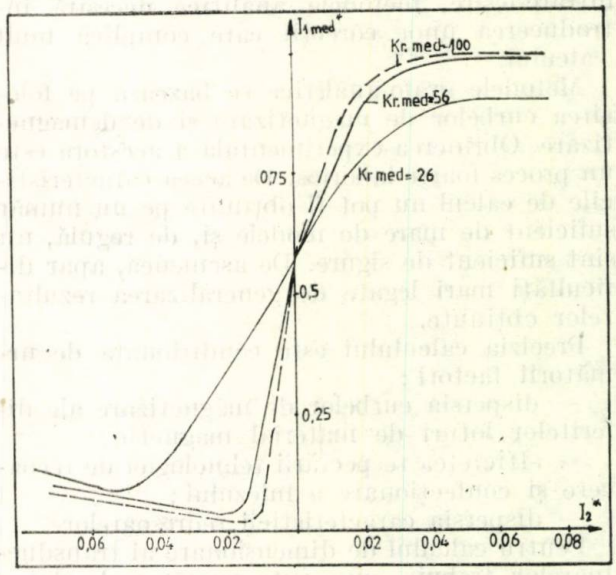


Fig. 3. Caracteristicile tip ale amplificatoarelor.

seama de condițiile de răcire. Se recomandă ca $\rho_s < 3\,A/mm^2$:

$$S_{cu} = \frac{I_N}{\rho_s}, \tag{12}$$

rezultînd o anumită valoare pentru S_{cu}.

Această valoare este bine să fie corelată cu secțiunile țevilor aflate în profilul MIM.

Tensiunea V a rețelei se calculează cu formula :

$$U_{rețea} = \frac{I_{NmedT} \cdot R_s}{K_{Umed}}, \text{ conform [1]}, \tag{13}$$

unde I_{NmedT} este curentul total al sarcinii.

Cu aceste valori se face o verificare a coeficienților :

$$C_{rd} = \frac{V_f}{V_{rețea}}, \tag{14}$$

$$C_1 = \frac{I_{sc} \cdot R_1}{V_{rdțea}} \tag{15}$$

Pentru aceste relații se calculează K_u.

Dacă valoarea lui K_u nu diferă cu mai mult de 5% față de K_u calculat anterior, se consideră bun calculul și dimensionările făcute.

Ultima etapă a calculului implică determinarea curentului de comandă, conform [1] :

$$I_{2N} = \frac{H_N \cdot \text{lm} \cdot I_{2N}}{W_2\, I_N} \tag{16}$$

În cazul în care transductorul este executat cu miezuri standardizate, trebuie avut în vedere ca spirele înfășurării W_2 să poată fi așezate pe miez în așa fel încît să se obțină caracteristicile date. Dacă nu se reușește așezarea înfășurării, se poate calcula valoarea coeficientului de reglare a factorilor de amplificare sau a altor mărimi ce caracterizează amplificatoarele care pot fi obținute fără modificarea construcției. Secțiunea înfășurării de comandă se determină impunînd o anumită densitate de curent.

Rezistența înfășurării de comandă este :

$$R_2 = \frac{W_2 \cdot l_2}{57.100_2 \cdot q_2}, \qquad (17)$$

unde q_2 este secțiunea înfășurării de comandă
l_2 — lungimea medie a spirei, determinată de construcția și gabaritele amplificatorului.

Concluzii

Urmînd aceste modele de calcul s-a proiectat traductorul care echipează un transformator de 22,4 M=VA cu :

$$I_{transductor} = 6\,760 \text{ A},$$

$$U_{sarcină\ c.c} = 7\,00 \text{ V}.$$

În urma studierii mai multor variante, ținînd seama de necesitatea unui consum minim de tablă silicioasă și de posibilitățile unităților MIM de a realiza țevi de cupru s-a optat pentru următoarea soluție :

— calea de curent : țeavă de Cu cu dimensiunile $Ø_e = 75$ mm și $Ø_i = 45$ mm ;

— construcția : 7 miezuri pe coloană, înălțimea unui miez fiind 195 mm.

Pentru încadrarea în cele recomandate de [1] se aleg dimensiunile miezului : $\Phi_e = 270$; $\Phi_i = 110$,

$$\text{deci : } \frac{\Phi_e}{Ø_i} = 2{,}45.$$

Curentul de comandă : $I2N = 16$ A.

Schema de redresare : redresor cu 6 pulsuri.

Bibliografie

[1] *Stefanovici T.N.* Amplificatoare magnetice, Editura Tehnică, București 1965.

[2] *Milovzorov, V.P.* Elektromagnitnîe ustrojstra automatiki, Moskva, izd. Vyssaja skela, 1983.

[3] *Beian, I.* Amplificatorul magnetic în sistemele automate.

[4] *Boiarcenkov M.A., Sinoavski, A.V.* Amplificatoare magnetice, Editura Tehnică, București, 1962.

[5] *Popescu, C., Lefter C.* Materiale electrotehnice, Editura didactică și pedagogică, București, 1970.

[6] *Babikov, M.A.* Aparate de joasă tensiune, Editura Tehnică, București 1959.

[7] *Boiarcenkov, M.A.* Elemente magnetice cu miezuri ramificate, Moskva, Energhia, 1969.

[8] *Mihailenko, A.I.* Cuptoarele metalurgiei neferoaselor, București, IDT, 1952.

[9] *Paraschiv, Gh.* Îndrumătorul mecanicului șef din industria metalurgică, București, CDPTIU, 1972.

TÎRGUL LEIPZIG

Republica Democrată Germană

Centrul comercial mondial Leipzig vă oferă într-un singur loc și în numai șapte zile:

- Tratative în domenii reprezentative ale industriei R.D.G.
- Încheierea de afaceri și contacte cu parteneri comerciali din întreaga lume.
- Informații și tehnologii de înaltă productivitate în ramura industrială care vă interesează.

Tema Tîrgului Leipzig 1988: **„Aparatură de măsură, control și reglare integrată a sistemelor de producție — calea spre creșterea eficienței"**

Pentru comerț internațional și progres tehnic!

Invitații pentru Tîrg și informații puteți obține la O.N.T. Carpați sau la Reprezentanța Comercială a Ambasadei R.D.G. în R.S.R., str. Dumbrava Roșie nr. 4, București.

O.N.T. Carpați organizează călătorii pentru grupe de experți cu participare gratuită la conferințele de specialitate și la vizitarea Tîrgului cu ghizi specializați.

de la 13.3. la 19.3.1988

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA — ROMÂNIA,
TELEFON 44495, TELEX 41234

I.C.S.I.T. — M.T.A.E. — CRAIOVA oferă:

ICSIT MTAE CRAIOVA

INSTALAŢIA DE STABILIZARE PRIN VIBRAŢII CU AFISAJ NUMERIC-cea mai modernă, simplă şi sigură metodă pentru îndepărtarea tensiunilor reziduale din piesele metalice.

Comparativ cu detensionarea termică, instalaţia de stabilizare prin vibraţii prezintă avantaje evidente :

— COST REDUS ŞI AMORTIZARE RAPIDĂ

Procedeul oferă avantaje de preţ deosebite, prin reducerea consumului energetic, eliminarea transportului pieselor, scurtarea ciclului de fabricaţie, creşterea calităţii şi siguranţei în aplicare. Acestea asigură amortizarea investiţiei în cîteva luni de utilizare.

— CONSUM DE ENERGIE REDUS

Folosind acest procedeu, consumul de energie se reduce de peste 1 000 ori faţă de procedeul clasic.

— MOD DE OPERARE SIMPLU

Procedeul se bazează pe inducerea de vibraţii controlate de mică amplitudine şi joasă frecvenţă în metal pînă la obţinerea stabilizării dimensionale.

— GABARIT REDUS

Instalaţia are următoarele părţi componente :

— unitatea de comandă şi reglaj cu afişaj numeric ;
— vibrator mic V1, vibrator mare V3, vibrator de mare turaţie ;
— traductor de acceleraţie ;
— cleşti pentru fixarea vibratorului şi traductorului ;
— tampoane de cauciuc.

— GAMA LARGĂ DE APLICABILITATE

Se pot detensiona piese între 0,05—150 t folosind cele trei tipuri de vibrator.

Formele pieselor pot fi: bloc, bară, inel, schelet metalic etc.

Materialele ce pot fi detensionate sînt atît feroase, cît şi neferoase.

electroexportimport

Foreign Trade Company • Bucharest — România
216, Calea Victoriei • Telephone: 50 28 70 • Telex: 11.388—11.399

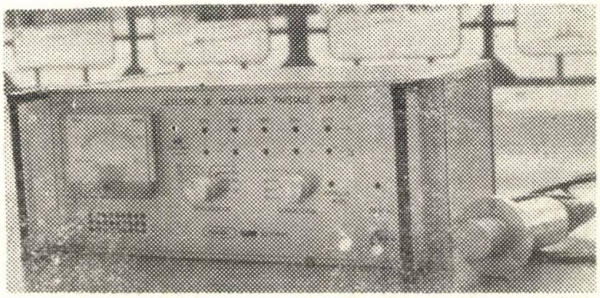
MECANOEXPORTIMPORT
FOREIGN TRADE COMPANY
10, Mihai Eminescu St. •
Telephone: 12 46 00 •
Telex: 10269 • POB: 130.
BUCHAREST — ROMANIA

ICP-EP

CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA — ROMÂNIA,
TELEFON 44494, TELEX 41234

I.C.S.I.T.—M.T.A.E. — CRAIOVA

ICSIT MTAE CRAIOVA



LABORATORUL DE ÎNALTĂ TENSIUNE EXECUTĂ:

DETECTOARE ULTRASONICE DE DESCĂRCĂRI PARȚIALE

aparate electronice complexe, de înaltă sensibilitate, destinate a sesiza și semnaliza existența și evoluția descărcărilor parțiale apărute în exploatarea transformatoarelor și echipamentelor capsulate în SF_6.

Tipuri constructive:

— DUDP — 2 cu patru traductoare pentru montarea pe cuva transformatoarelor de înaltă tensiune;
— DDP — 3 cu cinci traductoare pentru montarea pe carcasa echipamentului capsulat în SF_6;
— DUDP — 3 tip monocanal portabil cu un singur traductor pentru montare atît pe transformatoare, cît și pe echipamentul capsulat în SF_6. Echipamentul menționat poate fi livrat la beneficiarii străini prin firma de comerț exterior:

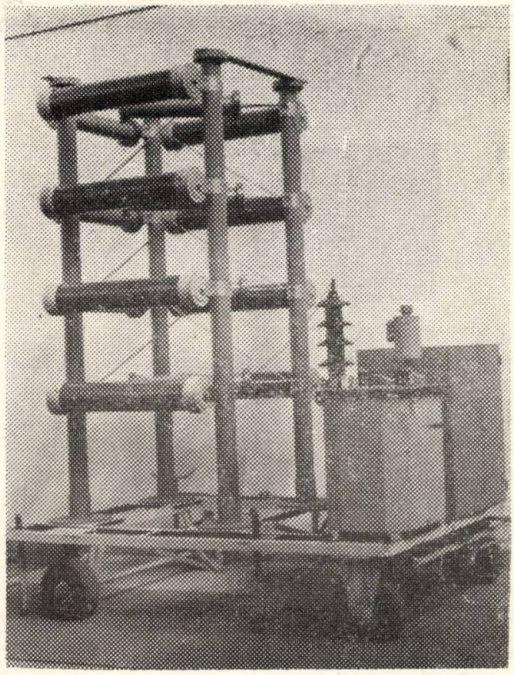
electroexportimport

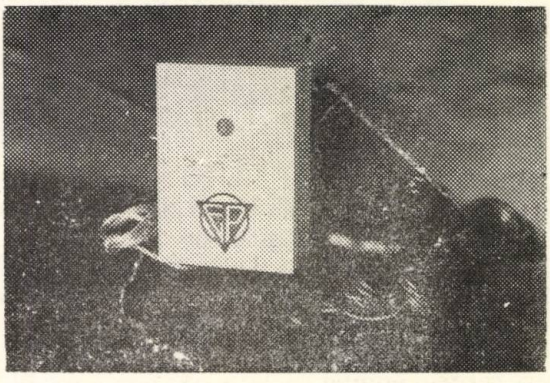
FOREIGN TRADE COMPANY
• BUCHAREST — ROMANIA
216 Calea Victoriei • Telephone: 50 28 70 • Telex: 11.388 — 11.399

CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA — ROMÂNIA,
TELEFON 44494, TELEX 41234

I.C.S.I.T.—M.T.A.E. — CRAIOVA

ICSIT MTAE CRAIOVA





realizează sub formă de microproducție în cadrul Laboratorului de mare putere :

— instalații pentru determinarea caracteristicii de gol a întreruptoarelor de înaltă tensiune pînă la 123 kV ;

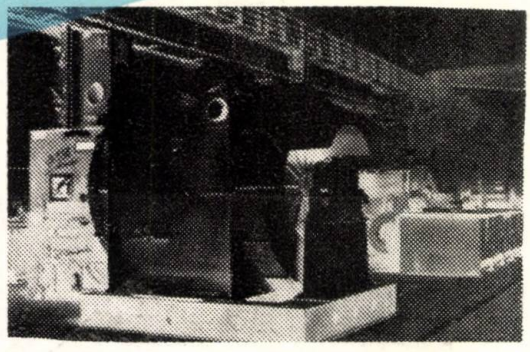
— dispozitive sesizoare de arc electric tip DSAE-M la celulele de distribuție de medie tensiune.

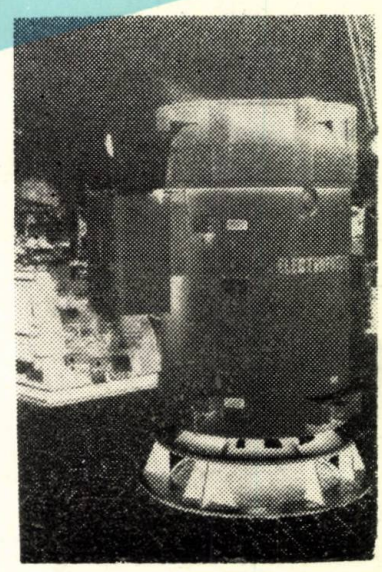
electroexportimport

Foreign Trade Company • București — Romania 216 Calea Victoriei • Telephone : 50 28 70 • Telex : 11.388 — 11.399

Electroputere

CALEA BUCUREȘTI 144, CRAIOVA—ROMÂNIA, TELEFON 44494, TELEX 41234





ELECTROPUTERE fabrică și livrează întreaga gamă de mașini electrice standard cu puteri nominale între 130 și 2 500 kW.

La cerere se pot livra și alte tipuri pentru diverse aplicații industriale după cum urmează :

— pentru fabricile de ciment ;
— pentru utilizări în termocentrale ;
— pentru pompe (poziție verticală de funcționare) ;
— pentru propulsie navală (inclusiv marină) ;
— pentru tracțiune electrică și diesel-electrică ;
— pentru acționarea instalațiilor de laminare ;
— pentru excavatoare ;
— pentru grupuri electrogene, terestre și navale ;
— pentru instalațiile de foraj terestre și marine ;
— pentru industria petrochimică etc.

Exportă prin următoarele întreprinderi de comerț exterior :

— ELECTROEXPORTIMPORT
— MECANOEXPORTIMPORT
— INDUSTRIALEXPORTIMPORT
— UZINEXPORTIMPORT

electroexportimport

Foreign Trade Company • București — Romania
216 Calea Victoriei • Telephone: 50 28 70 • Telex: 11.388 — 11.399

MECANOEXPORTIMPORT
FOREIGN TRADE COMPANY
10, Mihai Eminescu St. •
Telephone: 12 46 00 •
Telex: 10260 • POB 130.
BUCHAREST — ROMANIA

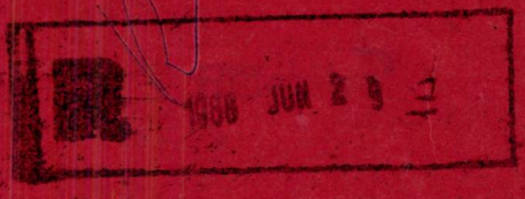
uzinexportimport

Intreprindere de Comerț Exterior
B-dul Republicii 32, tel. 13 29 59,
telex 011214
70033 – București

ROMANIA
INDUSTRIALEXPORTIMPORT
PETROMIN

E 2040/1

ETE



Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 36 • NR. 2 • FEBRUARIE 1988

ELECTROTEHNICA, AUTOMATICA ŞI ELECTRONICA

Anul 36 Nr. 2 februarie 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

I.A.M.S.A.T. — Unitate de Montaj şi Service Instalaţii de Automatizări — la a 25-a aniversare, p. 51

CZ 621.392.2

POLIETILENTEREFTALAT
TEMPERATURI CRIOGENICE

Cramariuc, R. ş.a. : **Localizarea şi migrarea sarcinilor în polietilentereftalat la temperaturi criogenice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 54

În lucrare se aplică metoda radiotermoluminescenţei (RTL) la studiul migrării şi localizării purtătorilor de sarcină radioinduşi în polietilentereftalat (PET) la temperatura azotului lichid. Se formulează mecanismul emisiei de RTL şi se compară rezultatele obţinute privind natura mişcărilor moleculare responsabile pentru eliberarea purtătorilor de sarcină din capcane şi energia de activare corespunzătoare, cu date de literatură obţinute prin tehnici complementare.

CZ 621.315.6

RADIOTERMOLUMINESCENŢA
RĂŞINI POLIESTERICE

Penkala, W., Jipa, S. ş.a. : **Radioluminescenţa unor răşini poliesterice şi epoxidice.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 57

Lucrarea studiază radioluminescenţa unor răşini poliesterice şi epoxidice — nemodificate şi modificate cu acrilamidă — precum şi a amestecurilor acestora. S-au stabilit natura capcanelor implicate în emisie, centrii de luminescenţă şi energiile de activare ale mişcărilor moleculare corespunzătoare, formulîndu-se un mecanism de apariţie a emisiei de radioluminescenţă.

CZ 621.3.044.5

ALGORITME ŞI PROGRAME
APROXIMĂRI POLINOMIALE

Degeratu, P., Mihai, D., Manolea, Gh. : **Algoritm şi programe pentru aproximări polinomiale cu aplicaţii în electrotehnică. Partea I.: Aproximări prin polinoame de grad determinat în mod unic.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 63

Lucrarea expune algoritme, programe şi aplicaţii la determinarea coeficienţilor polinoamelor de grad fix care aproximează o dependenţă stabilită experimental.

CZ 621.3.044.5

ALGORITME ŞI PROGRAME
APROXIMĂRI POLINOMIALE

Mihai, D., Bitoleanu, Al., Dumbravă, I. : **Algoritme şi programe pentru aproximări polinomiale şi aplicaţii în electrotehnică. Partea a II-a : Aproximări prin polinoame de grad variabil.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 72

Se expun algoritme, programe şi aplicaţii la determinarea coeficienţilor polinoamelor de grad variabil care aproximează o dependenţă de tipul discret dată.

CZ 621.316.923 : 621.316.052

SIGURANŢĂ FUZIBILĂ
DIFERENŢE FINITE
DISTRIBUŢIE DE TEMPERATURĂ

Giurgiu, V., Marinescu, I., Török, I.: **Utilizarea metodei diferenţelor finite şi studiul perioadei preare la siguranţele fuzibile de înaltă tensiune.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 80

Se prezintă un exemplu de aplicare a metodei diferenţelor finite, folosind metoda Crank—Nicholson, la studiul fenomenelor termice care au loc în elementul fuzibil de înaltă tensiune în perioada prearc, ţinînd seama de cedarea de căldură în lungul elementului fuzibil.

CZ 681.332

ACHIZIŢIE DE DATE
PERFORATOARE DE CARTELE

Anton, M. ş.a. : **Sistem de culegere de date de la perforatoare de cartele.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 83

Lucrarea expune un sistem de culegere de date care asigură stocarea informaţiilor de la opt perforatoare de cartele de tip UNIVAC 1701 pe dischete flexibile cu ajutorul unui microcalculator TPD, evitînd folosirea cartelelor. Realizarea se bazează pe sistemul de culegere de date clădit în jurul unui microprocesor U 880, care se interconectează cu cele opt unităţi perforatoare prin intermediul unei magistrale de 12 linii.

CZ 621.3.082

MĂSURĂRI ELECTRONICE
DEFORMAŢII ŞI TENSIUNI MECANICE
CRIOGENIE
SUPRACONDUCTIBILITATE

Puflea, I., Popescu, A.P. : **Măsurări electronice pentru evaluarea deformaţiilor şi tensiunilor mecanice din înfăşurări supraconductoare.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, feb 1988, p. 85

Metoda măsurării electronice pentru evaluarea deformaţiilor şi tensiunilor mecanice din înfăşurări supraconductoare reprezintă o posibilitate experimentală de verificare şi corecţie a relaţiilor de calcul utilizate în proiectare, precum şi a soluţiilor constructive adoptate şi contribuie, totodată, la determinarea precisă a caracteristicilor mecanice ale materialelor utilizate la temperaturi criogenice.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HĂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor responsabil adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

Tehnoredactor : CORNELIA ORISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

I.A.M.S.A.T. — Единица Сборки и Сервиса Установки Автоматизации — на 25 годовщине,

стр. 51

УДК 621.392.2

ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ
КРИОГЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Крамарюк, Р. и др.: **Обнаружение и миграция зарядов в полиэтилентерафталате прик риогевных температурах.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 2, февраль 1988 г., стр. 54

В работе применяется метод радиотерма люминесценции (RLT) в изучении миграции и обнаружения радиоиндукцированных носителей заряда в полиэтилентерафталате (PET) при температуре жидкого азота. Сформулировывается механизм эмиссии RLT и сравниваются полученные результаты по природе молекулярных движений ответственных выделением носителей заряда из ловушек и сооветствуюшей энергии активации, с литературными данными полученными дополнительными техниками.

УДК 621.315.6

РАДИОТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ
ПОЛИЭФИРНЫЕ СМОЛЫ

Пенкала, В., Жипа, Э. и др.: **Радиолюминесценция полиэфирных и эпоксидных смол.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36, № 2,** февраль 1988 г., стр. 57

В работе исследуется радиолюминесценция полиэфирных и эпоксидных смол — немодифицированных и модифицированных акриламидом — а также радиолюминесценция их смесей. Установлены природа ловушек вовлеченных в эмиссии, центры люминесценции и энергии активации соответствующих молекулярных движений, получая механизм возникновения эмиссии радиолюминесценции.

УДК 621.3.044.5

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ
ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ

Деджерату, П., Михай, Д., Маноля, Г.: **Алгоритмы и программы для полиномиальных приближений с применениями в электротехнике. I часть: Приближения при помощи полиномов единно определенной степени.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 2, февраль 1988 г., стр. 63

В работе излагаются алгоритмы, программы и применении при определении коэффициентов полиномов постоянной степени аппроксимирующие экспериментально установленную зависимость.

УДК 621.3.044.5

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ
ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ

Михай, Д., Битоляну, Ал., Думбравэ, И.: **Алгоритмы и программы для полиномиальных приближений и применения в электротехнике. II-ая часть: Приближения при помощи полиномов переменной степени.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 2, февраль 1988 г., стр. 72

Излагаются алгоритмы, програмы и применения при определении коэффициентов полиномов переменной степени, аппроксимирующие отданную зависимость дискретного типа.

УДК 621.316.923: 621.316.052

ПЛАВКИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ
КОНЕЧНЫЕ РАЗНОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ;ТЕМПЕРАТУРЫ

Джурджу, В., Маринеску, И., Тёрёк, И.. **Применение метода конечных разностей и изучение преддугового периода у плавких предохранителей высокого напряжения.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 2, февраль 1988 г., стр. 80

Представляется пример применения метода конечных разностей, используя метод Кранка-Никольсона при исследовании термических явлений, появляющихся в плавком элементе высокого напряжения в преддуговом периоде имея ввиду термическую отдачу вдоль плавкого элемента.

УДК 681.332

СОБРАНИЕ ДАННЫХ
КАРТОЧНЫЙ ПЕРФОРАТОР

Антон, М. и др.: **Система собрания данных от карточных перфораторов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 2, февраль 1988 г., стр. 83

В работе излагается система собрания данных, обеспечивающая накопление информаций от восьми карточных перфораторов типа UNIVAC 1701 на гибких дискетах при помощи микро ЭВМ TPD, предотвращая использование карточек. Осуществление базируется на системе сообрания данных сложенной вокруг микропроцессора U 880, который взаимосвязывается с теми восьми единицами перфорации при помощи магистрали с 12 линиями.

УДК 621.3.082

ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ
КРИОГЕНИЯ
СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Пуфля, И., Попеску, А. П.: **Электронные измерения для оценивания механических деформаций и напряжений в сверхпроводящих обмотках.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 2, февраль 1988 г., стр. 85

Метод электронного измерения для оценивания деформаций и механических усилий в сверхпроводящих обмотках представляет экспериментальную возможность проверки и коррекции расчётных соотношений применяемых в проектировании, а также примятых конструктивных решений и даёт возможность точного определения механических характеристик материалов, использованных при криогенных температурах.

INHALT

I.A.M.S.A.T. — Kupplungs- und Serviceeinheit für Automatisierungsanlagen — bei dem 25-ten Jahrestag, S. 51

DK 621.392.2

POLYÄTHYLENTEREFTALAT
KRYOGENISCHE TEMPERATUREN

Cramariuc, R. u.a.: **Ortung und Belastungsüberführung in Polyäthylentereftalat bei kryogenischen Temperaturen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 54

In der Arbeit verwendet man die Methode der Radiothermoluminiszenz (RTL) bei der Studie der Überführung und Ortung der Radioanker Belastungsträger in Polyäthylentereftalat (PET) bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffes. Man formuliert den Emissionsmechanismus der RTL und man vergleicht die erhaltenee Ergebnisse bezüglich der molecularen Bewegungeu, die für die Befreiung der Lastträger aus der Falle verantwortlich sind und der entsprechenden Wirkungsenergie, mit Hilfe der bibliographischen Daten, die man durch ergänzende Techniken erhalten hat.

DK 621.315.6

RADIOTHERMOLUMINESZENZ
POLYESTHERISCHE HARZE

Penkala, W., Jipa, S. u.a.: **Radiolumineszenz einiger polyestherischen und epoxydischen Harze.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 57

Die Arbeit bezieht sich sowohl auf die Radiolumineszenz einiger polyestherischen und epoxydischen Harze, unverändert und mit Acrylamid verändert, als auch auf deren Mischungen. Es wurden die Fallenarten die in der Emissions vorkommen,die Lumineszenzräume und die Wirkungsenergien der entsprechenden molekularen Bewegungen, festgestellt, wobei ein Mechanismus der Radiolumineszenzemission entwickelt wurde.

DK 621.3.044.5

ALGORYTHMEN UND PROGRAMME
POLYNOMIALE ANNÄHERUNGEN

Degeratu, P., Mihai, D., Manolea, Gh.: **Algorythmen und Programme für polynomiale Annäherungen mit elektrotechnischen Anwendungen.**

Teil I: Annäherungen mit Hilfe der Polynomen mit bestimmbaren einheitlichen Grad.

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 63

Die Arbeit stellt Algorythmen, Programme und Anwendungen für die Bestimmung de Polynomkenngrössen mit festem Grad dar, die eine experimentell festgelegte Abhängigkeit approximiert.

DK 621.3.044.5

ALGORYTHMEN UND PROGRAMME
POLYNOMIALE ANNÄHERUNGEN

Mihai, D., Bitoleanu, Al., Dumbravă, I.: **Algorythmen und Programme für polynomiale Annäherungen mit elektrotechnischen Anwendungen. Teil II: Annäherungen mit Hilfe der Polynomen mit bestimmbarem variablem Grad.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, Febr 1988, S. 72

Die Arbeit stellt Algorythmen, Programme und Anwendengen für Bestimmung der Polynomkenngrössen mit variablem Grad dar, die eine experimentell festgelegte Abhängigkeit approximiert.

DK 621.316.923 : 621 316.052

SCHMELZSICHERUNGEN
FINITE DIFFERENZEN
TEMPERATURVERTEILUNG

Giurgiu, V., Marinescu, I., Török, I.: **Anwendung der finiten Differenz methode und das Studium der Vorfeder-Periode bei den Hochspannungs-schmelzsicherungen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 80

Es wird ein Verwendungsbeispiel der finiten Differenzmethode dargestellt, wobei man die Methode Crank-Nicholson beim Studium der thermischen Phenomäne anwendet, die im Hochspsnnungsschmelzelement in der Vorfeder-Periode stattfinden; man zieht die Wärmeabweichung längst des Schmelzelementes in Betracht.

DK 621.332

DATENSAMMLUNG
KARTENLOCHER

Anton, M. u.a.: **Datensammlungssystem beim Kartenlocher.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 83

Die Arbeit stellt ein Datensammlungssystem dar, das die Informationspeicherung von 8 Kartenlocher des Typs UNIVAC 1701, in flexible Scheiben mit Hilfe eines Mikrorechner TPD sichert, wobei man die Anwendung der Karten vermeidet. Die Entwicklung basiert auf dem Datensammlungssystem das um einen Mikroprozessor U 880 gebaut ist, der isich mit den acht Lochereinheiten, mit Hilfe einer Datenbahn von 12 Linien, verkettet.

DK 621.3.082

ELEKTRONISCHE MESSUNGEN
MECHANISCHE DEFORMATIONEN UND SPANNUNGEN
KRYOGENIE
ÜBERLEITFÄHIGKEIT

Puflea, I., Popescu, A.P.: **Elektronische Messungen für die Bewertung der mechanischen Verformungen und Spannungen in überleitende Wicklungen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 2, Febr 1988, S. 85

Die elektronische Messmethode für die Bewertung der mechanischen Verformungen und Spannungen in überleitende Wicklungen stellt eine experimentelle Kontrollmöglichkeit der Rechenverhältnisse die in der Planung verwendet werden, dar, als auch der konstruktiven Lösungen, und trägt gleichzeitig an der genauen Bestimmung der mechanischen Charakteristiken der verwendeten Materialen mit kryogenischen Temperaturen, bei.

CONTENTS

I.A.M.S.A.T. — Mounting and Servicing Unit for Automation Equipment — at the 25th Anniversary, p. 51.

DC 621.392.2

POLYETHYLENETEREPHTHALATE
CRYOGENIC TEMPERATURES

Cramariuc, R. a.s.o. : **Loan Location and Migration in Polyethyleneterephthalate at Cryogenic Temperatures.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 54

In the work the radio-thermoluminescence method (RTL is applied in view to study the location and migration o load carriers radioinduced into the polyethyleneterephtha late (PET) at liquid nitrogen temperature. The RTL emission mechanism us formulated and the results concerning the nature of the molecular motion responsible for the eliberation of the load carriers from traps and the corresponding activation energy are compared with literature data obtained through complementary techniques.

DC 621.315.6

RADIO-THERMOLUMINESCENCE
POLYESTHERIC RESINS

Penkala, W., Jipa, S. a.s.o. : **Radio-luminescence of Some Polyestheric and Epoxy Resins.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 57

In the present work the radioluminescence of some polyestheric and epoxy resins, unmodified and modified with acrylamide, as well as their mixtures are studied. The nature of the traps implied in the emission process, the luminescence centres and the activation energy of the corresponding molecular motions have been established, and a mechanism of the radioluminescence emission appearance has been developed.

DC 621.3.044.5

ALGORITHMS AND PROGRAMS
POLYNOMIAL APPROXIMATIONS

Degeratu, P., Mihai, D., Manolea, Gh. : **Algorithm and Programs for Polynomial Approximations with Application in Electrical Engineering.**
Part I — Approximations through Polynoms on Uniquely Mode-Determined Order.

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 63

In the work algorithms, programs and applications for determining the coefficients of fixed order polynoms that approximate an experimentally established dependence, are presented.

DC 621.3.044.5

ALGORITHMS AND PROGRAMS
POLYNOMIAL APPROXIMATIONS

Mihai, D., Bitoleanu, Al., Dumbravă, I. : **Algorithms and Programs for Polynomial Approximations and Applications in Electrical Engineering.**
Part II — Approximations through Variable Order Polynoms.

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 72

Algorithms, programs and applications concerning the determination of variable order polynom coefficients, that approximate a given dependence of the discreet type are given.

DC 621.316.921 : 621.316.052

FUSE
FINITE DIFFERENCES
TEMPERATURE DISTRIBUTION

Giurgiu, V., Marinescu, I., Török, I. : **Usage of the Finite Difference Method and Study of the Pre-Arc Period for High Voltage Fuses.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 80

An exemple of applying the finite difference method using the Crank-Nicholson method, at the study of the thermal phenomena taking place within the high voltage fusible element during the pre-arc period, taking into account the heat dissipation along the fusible element, is presented.

DC 681.332

DATA ACQUISITION
CARD PUNCHERS

Anton, M. a.s.o : **Acquisition Data System from the Car Punchers.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 83

In the work an acquisition data system that ensures the storage of information from eight card punchers type UNIVAC 1701, on flexible little disks, by means of a TPD microcomputer, avoiding the usage of cards, is presented. The design is based on the data acquisition system built around a microprocessor U 880, that is interconnected to the eight punchers by means of a 12 line bus.

DC 621.3.082

ELECTRONIC MEASUREMENTS
STRAINS AND MECHANICAL EFFORTS
CRYOGENICS
SUPERCONDUCTIBILITY

Puflea, I., Popescu, A.P. : **Electronic Measurements for the Assessment of Mechanical Strains and Efforts on the Superconducting Windings.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 2, Feb 1988, p. 85

The method of the electronic measurement for the assessment of the mechanical strains and efforts on the superconducting wirings represents an experimental possibility to check and correct the computing relations used in the design stage, as well as the adopted constructive solutions. At the same time, it makes possible the accurate determination of the mechanical characteristics of the materials used at cryogenic temperatures.

SOMMAIRE

I.A.M.S.A.T. — Entreprise de Montage et Service des Équipements d'Automatisation — à 25-ème anniversaire p. 51

CD 621.392.2

POLYÉTHYLÈNETÉREPHTALATE
TEMPÉRATURES CRYOGÉNIQUES

Cramariuc, R. et. al. : **Localisation et migration des charges dans le polyéthylènetérephtalate aux températures cryogéniques.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p. 54

Dans ce travail on applique la méthode de la radiothermoluminescence (RLT) à l'étude de la migration et de la localisation des porteurs de charge radio-induits dans le polyéthylènetérephtalate (PET) à la température de l'azote liquide. On y formule le mécanisme de l'émission de radiothermoluminescence et l'on y compare les résultats obtenus concernant la nature des mouvements moléculaires dont dépend le phénomène de dépiégeage des porteurs de charge et l'énergie d'activation appropriée, les données bibliographiques étant obtenues par des techniques complémentaires.

CD 621.315.6

RADIOTHERMOLUMINESCENCE
RÉSINES POLYESTÉRIQUES

Penkala, W., Jipa, S. et al. : **Radioluminescence de certaines résines polyestériques et époxydiques.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p 57

Dans ce travail on étudie la radioluminescences de certaines résines polyestériques et époxydiques-non-modifiées ou modifiées par acryleamide-ainsi que la radioluminescence des mélanges de celles-ci. On a établi la nature des pièges impliqués dans le phénomène d'émission, les centres de luminescence et les énergies d'activation des mouvements moléculaires appropriés, formulant un mécanisme de génération de l'émission de radioluminescence.

CD 621.3.044.5

ALGORITHMES ET PROGRAMMES
APPROXIMATIONS POLYNOMIALES

Degeratu, P., Mihai, D., Manolea, Gh.: **Algorithme et programme pour approximations polynômiales à applications électrotechniques.**
Partie : I-ère Approximations par polynômes à degré déterminé par voie unique.

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p. 63

Le travail présente des algorithmes, des programmes et des applications à la détermination des coefficients des polynômes à degré fixe approximant une dépendance établie par voie expérimentale.

CD 621.3.044.5

ALGORITHMES ET PROGRAMMES
APPROXIMATIONS POLYNOMIALES

Mihai, D., Bitoleanu, Al., Dumbravă, I. : **Algorithmes et programmes pour approximations polynômiales et applications électrotechniques. II*ème* Partie : Approximations par polynômes à degré variable.**

E.E.A. — Electrotehnica 36, nr. 2, févr 1988, p. 72

On y présente des algorithmes, des programmes et des applications à la détermination des coefficients des polynômes à degré variable approximant une dépendance du type donnée discrètement.

CD 621.316.923 : 621.316.052

FUSIBLE
DIFFÉRENCES FINIES
DISTRIBUTION DE TEMPÉRATURE

Giurgiu, V., Marinescu, I., Török, I. : **Application de la méthode des différences finies et étude de la période de pré-arc aux fusibles à haute tension.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p. 80

On y présente un exemple d'application de la méthode des différences finies, tout en employant la méthode de Crank-Nicholson, à l'étude des phénomènes thermiques générés dans le fusible à haute tension lors de la période de pré-arc, compte tenu du transfert de chaleur tout au long de l'élément fusible.

CD 681.332

SAISIE DE DONNÉES
PERFORATEURS DE CARTES

Anton, M. et. al. : **Système pour la saisie de données der perforateurs de cartes.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p. 83

Le travail présente un système de saisie de données assurant le stockage des informations de huit perforateurs de cartes du type UNIVAC 1701 sur disquettes flexibles, à l'aide d'un micro-ordinateur TPD, tout en évitant l'emploi des cartes Cette mise en oeuvre fait appel au système de saisie de données dont le composant essentiel est constitué par le microprocesseur U 880, interconnecté aux huit unités perforatrices moyennant un bus de 12 lignes.

CD 621.3.082

MESURES ÉLECTRONIQUES
DÉFORMATIONS ET CONTRAINTES MÉCANIQUES
CRYOGÉNIE
SURCONDUCTIBILITÉ

Puflea, I., Popescu, A.P. : **Mesures électroniques pour évaluer les déformations et les contraintes mécaniques des enroulements surconducteurs.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 2, févr 1988, p. 85

La méthode de mesure électronique pour évaluer les déformations et les contraintes mécaniques dans les enroulements surconducteurs représente une possibilité expérimentale de vérification et de correction des relations de calcul appliquées dans la conception, ainsi que des solutions constructives adoptées, tout en contribuant à la détermination précise des caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés aux températures cryogéniques.

ÎNTREPRINDEREA ANTREPRIZĂ DE MONTAJ ȘI SERVICE PENTRU AUTOMATIZĂRI ȘI TELECOMUNICAȚII

București, Șos. Orhideelor 27–29, Sector 1, Cod 77139, Telefon 49 74 70 – 49 71 06, Telex 10576

IAMSAT

Cu o îndelungată experiență, de peste 25 de ani de activitate, și o puternică capacitate tehnică și productivă în relații cu peste 500 de beneficiari din țară și cu 20 peste hotare.

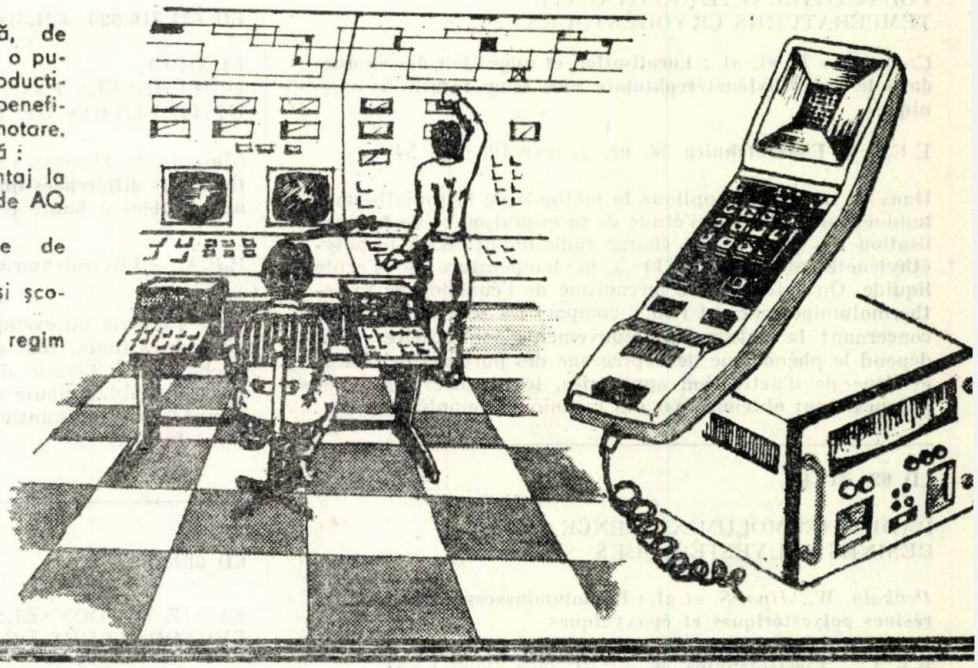
Asigură pentru dumneavoastră :

– execuția lucrărilor de montaj la nivel tehnic mondial în regim de AQ (asigurarea calității) ;

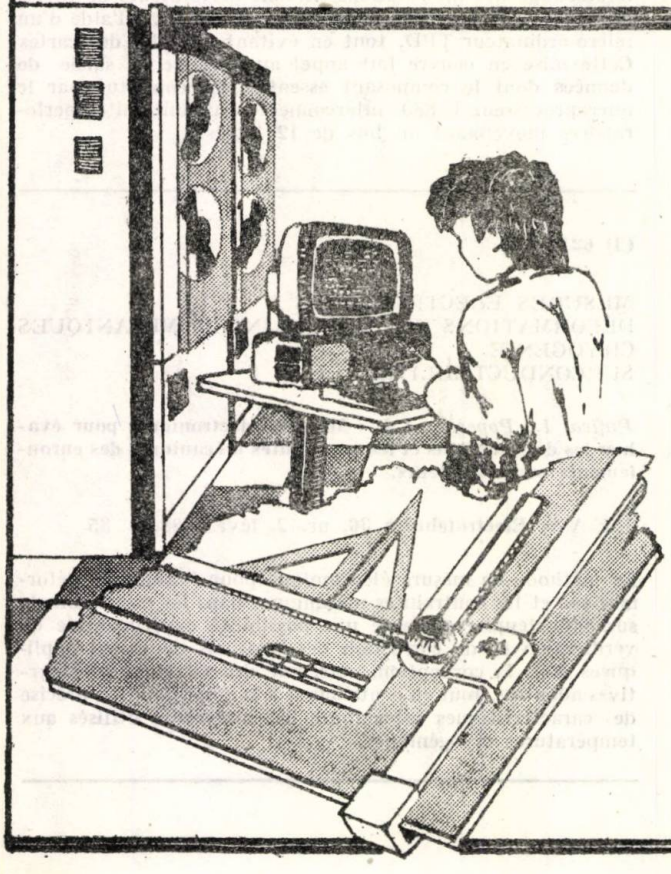
– verificări complexe și probe de punere în funcțiune ;

– service, asistență tehnică și școlarizare de personal ;

– produse pentru montaj în regim de furnizor general.



IAMSAT



I.A.M.S.A.T. – Deservește următoarele ramuri industriale :

ENERGETICĂ

– centrale nucleare electrice, turbine abur, excitație statică cazane abur, apă fierbinte.

PETROCHIMIE, RAFINĂRII

– fabrici de acid sulfuric, azotic, fosforic, îngrășăminte azoase, fosfatice, fibre sintetice.

EXTRACTIVĂ

– excavatoare, cimpuri de sonde extracție țiței, gaze naturale mașini de haldat, benzi transportoare de mare capacitate.

MATERIALE DE CONSTRUCȚII

– fabrici de ciment.

ALIMENTARĂ

– fabrici de ulei, zahăr, panificație, mori, silozuri.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 2

I.A.M.S.A.T. — Unitate de Montaj şi Service Instalaţii de Automatizări — la a 25-a aniversare

GHEORGHE CIORUŢĂ * — BUCUREŞTI

Intreprinderea Antrepriză de Montaj, Service, Automatizări şi Telecomunicaţii a împlinit în anul 1987, 25 de ani de existenţă, într-o sferă de activitate care s-a dezvoltat şi diversificat an de an, acoperind în prezent o gamă largă de preocupări axate, în special, pe activitatea de montaj, producţie industrială secundară şi service în domeniul aparatului de măsură, control, automatizare şi telecomunicaţii.

Creată în urmă cu 25 ani, 1962, pe un nucleu provenit din Intreprinderea „Automatica", noua întreprindere, denumită Intreprinderea de Montaj Instalaţii de Automatizare şi-a început activitatea cu un plan anual de 17 milione lei, marcînd de-a lungul timpului o dinamică impresionantă: 100 milioane plan în anul 1966; 1100 milioane plan în anul 1986, această ultimă cifră reprezentînd pentru anul 1987 planul unei singure unităţi, a întreprinderii A.M.E.A. — Cernavodă.

În anul 1979 întreprinderea noastră şi-a dezvoltat activitatea, preluînd Service-ul pentru instalaţii de automatizări, schimbîndu-şi numele din I.M.I.A. în I.M.S.A.T., (Intreprinderea Montaj, Service, Automatizări şi Telecomunicaţii), iar în 1981, aliniindu-se noii legislaţii în activitatea de construcţii-montaj I.M.S.A.T. devine I.A.M.S.A.T. (Intreprinderea Antrepriză de Montaj, Service, Automatizări şi Telecomunicaţii).

În tot acest timp necesităţile economiei au fost satisfăcute de către întreprindere, pe întreg teritoriul ţării noastre, într-o formă de organizare descentralizată în brigăzi-subunităţi teritoriale fără personalitate juridică.

De-a lungul celor 25 de ani de existenţă, colectivul de oameni ai muncii din cadrul I.A.M.S.A.T., muncind cu elan şi dăruire, a contribuit cu abnegaţie la înfăptuirea unor programe de investiţii prevăzute în Programul P.C.R. de făurire a societăţii socialiste multilateral dezvoltate şi înaintare a României spre comunism, muncă susţinută care îşi găseşte concretizarea într-o dinamică ascendent continuă a planului întreprinderii şi în realizări deosebite în activitatea de construcţii-montaj şi operaţii service (fig. 1 şi 2).

În momentul de faţă, activitatea I.A.M.S.A.T se desfăşoară într un cadru organizatoric format din 14 brigăzi şi două antreprize şi se axează pe două direcţii principale: montaj, service, producţie secundară industrială pe *partea clasică* cu o antrepriză, şantiere şi brigăzi care acoperă necesităţile întregului teritoriu al ţării noastre şi activitatea de montaj şi producţie secundară industrială pe *partea*

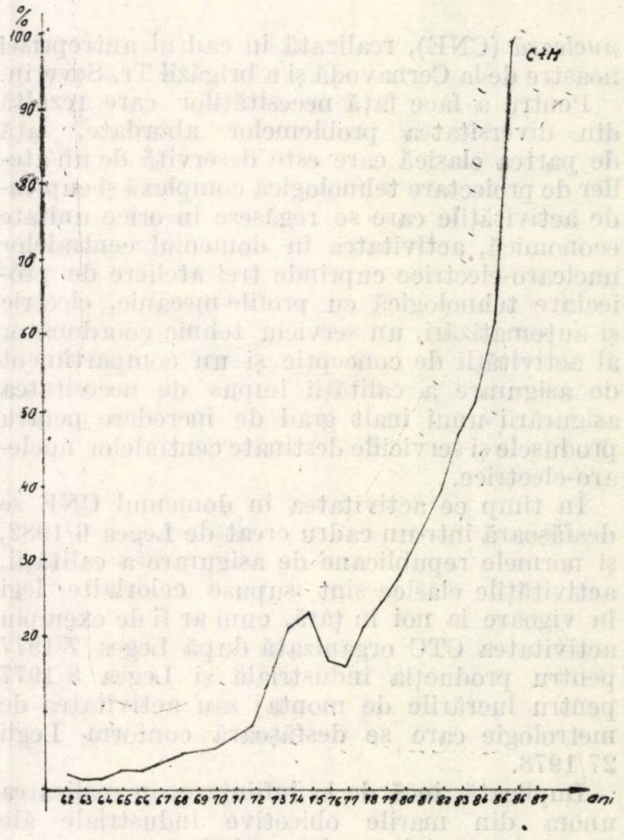


Fig. 1. Dinamica realizărilor întreprinderii la construcţii-montaj.

* Director al I.A.M.S.A.T.—Bucureşti.

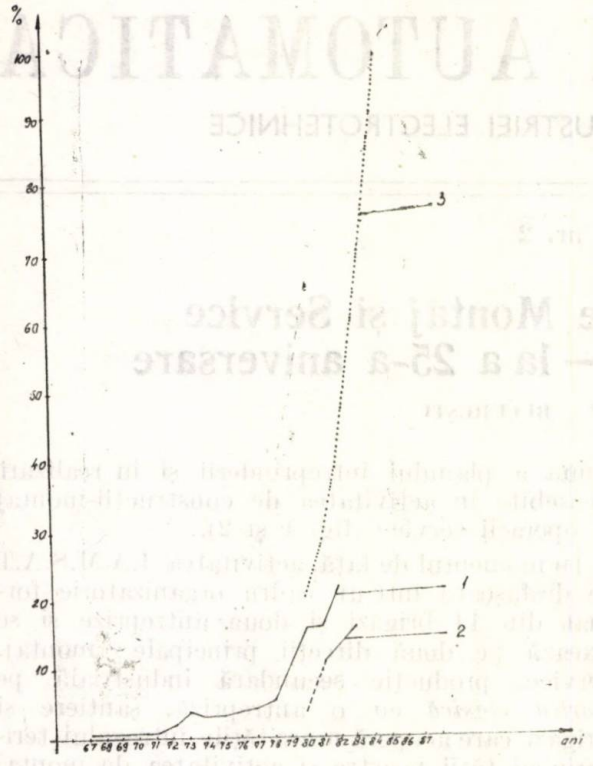


Fig. 2. Dinamica realizărilor întreprinderii la industrie (producţie secundară industrială + activitatea de service); PSI + Service = Industrie; 1 — P.S.I.; 2 — Service; 3 — Industrie.

nucleară (CNE), realizată în cadrul antreprizei noastre de la Cernavodă şi a brigăzii Tr. Severin.

Pentru a face faţă necesităţilor care rezultă din diversitatea problemelor abordate, faţă de partea clasică care este deservită de un atelier de proiectare tehnologică complexă şi cuprinde activităţile care se regăsesc în orice unitate economică, activitatea în domeniul centralelor nuclearo-electrice cuprinde trei ateliere de proiectare tehnologică cu profile mecanic, electric şi automatizări, un serviciu tehnic coordonator al activităţii de concepţie şi un compartiment de asigurare a calităţii impus de necesitatea asigurării unui înalt grad de încredere pentru produsele şi serviciile destinate centralelor nuclearo-electrice.

În timp ce activitatea în domeniul CNE se desfăşoară într-un cadru creat de Legea 6/1982, şi normele republicane de asigurare a calităţii, activităţile clasice sînt supuse celorlalte legi în vigoare la noi în ţară, cum ar fi de exemplu activitatea CTC organizată după Legea 7/1977 pentru producţia industrială şi Legea 8/1977 pentru lucrările de montaj sau activitatea de metrologie care se desfăşoară conform Legii 27/1978.

Implicată, încă de la înfiinţare, în realizarea unora din marile obiective industriale ale României socialiste, întreprinderea noastră a zbutit ca prin muncă susţinută să-şi sporească în mod continuu gradul de tehnicitate, ceea ce a condus la o diversificare a participării noastre la construirea de obiective în mai toate ramurile economiei naţionale. Astfel, de exemplu, în prima parte a existenţei sale I.M.I.A. a realizat o serie de lucrări legate de montaj, instalaţii şi aparatură de automatizare la „Laminorul" — Roman, Fabrica de Ulei Slobozia, Fabricile de Ciment Taşca, Oghiz, Cîmpulung Muscel Tg. Jiu, Fieni, Combinatele Siderurgice Reşiţa, Hunedoara, Galaţi, Combinatul Chimic Roznov. Cîştigînd continuu experienţă şi bucurîndu-se de încrederea beneficiarilor, I.A.M.S.A.T. a executat în ultima perioadă lucrări deosebit de complexe, dintre care multe ar fi necesitat, cu ani în urmă, import de asistenţă tehnică. Astfel sînt lucrările executate la combinatele chimice şi petrochimice Arad, Rm. Vîlcea, Borzeşti, Piteşti, Năvodari, Turceni, Jilţ, Roşia Poeni, cele din bazinul carbonifer Vîlcea, Combinatul de Utilaj Greu Cluj-Napoca, Combinatul de Prelucrare a Lemnului Tr. Severin, Combinatul de Celuloză şi Hîrtie Dej şi altele.

În momentul de faţă specialiştii automatişti ai I.A.M.S.A.T. se regăsesc puternic implicaţi în mai toate ramurile economiei naţionale, o importanţă primordială în activitatea întreprinderii acordîndu-se obiectivelor naţionale prioritare : Centrala Nuclearo-Electrică Cernavodă şi celelalte obiective din programul nuclear, Combinatul Petrochimic Midia, programul minier, Canalul Dunăre-Marea Neagră.

Ţinînd seama de bogata experienţă dobîndită de I.A.M.S.A.T. în domeniul montajului de aparatură de măsură, control şi automatizare devenind o întreprindere cu o bogată sursă de informaţii privind performanţele şi siguranţa în funcţionare a aparaturii fabricată în ţară, Ministerul Industriei Electrotehnice a creat în cadrul întreprinderii noastre un colectiv central de fiabilitate compus din specialişti de înaltă calificare şi avînd ca obiective atît cercetarea ştiinţifică în acest domeniu deosebit de actual, cît şi coordonarea activităţii laboratoarelor de fiabilitate din cadrul unităţilor M.I.Et.

În anul 1975, în cadrul întreprinderii s-a înfiinţat un atelier de producţie industrială secundară care la început, a avut ca sarcină confecţionarea de construcţii metalice mici, în special poduri de cabluri.

Dezvoltîndu-se continuu, în anul 1979 această producţie de sisteme mecanice pentru montaj s-a realizat în cadrul unei secţii centrale, creşterea ponderii acestei activităţi, ca urmare a cerinţelor impuse de operativitatea lucrărilor de montaj, conducînd la generalizarea ei în anul 1980 la toate subunităţile teritoriale.

Se poate menţiona că activitatea de producţie secundară industrială a căpătat în cadrul unităţii centrale a I.A.M.S.A.T., o amploare deosebită, tehnicitatea şi calitatea lucrărilor

xecutate pentru Centrala Nucleară Cernavodă fiind recunoscută de către partenerul canadian prin acordarea certificatelor 1, 2 și 3, care dau dreptul de a furniza centralei nucleare construcții metalice în condiții de asigurare a calității deosebit de pretențioase.

Activitatea de „Service" reprezintă o pondere deosebită în activitatea întreprinderii, fiind prezentă în aproape toate domeniile economiei naționale în care procesele tehnologice sînt automatizate.

Organizatoric, această activitate se desfășoară în cadrul a două secții centrale de „Service", precum și în compartimente de „Service" teritoriale în cadrul brigăzilor și antreprizelor noastre.

Specialiștii din cadrul „Service" I.A.M.S.A.T. efectuează lucrări de întreținere a instalațiilor de măsurare și conducere automată a proceselor de producție, de la mijloacele de măsurare și pînă la elementele de execuție, efectuînd în același timp reparațiile și verificări metrologice de aparate, revizuind și predînd în cele mai bune condiții beneficiarului instalații de măsură, reglare și automatizare din cele mai diverse domenii.

Realizările obținute pe plan intern de către întreprinderea noastră au condus, în mod firesc, la dorința de a participa și la activitatea de export.

Activitatea de montaj în străinătate a confirmat prestigiul obținut de specialiștii I.A.M.S.A.T., solicitări de colaborare cu partenerii externi fiind efectuate, fie direct, fie prin întreprinderile de construcții în străinătate ARCOM și ARCIF. Dintre lucrările mai importante de montaj aparatură și instalații de automatizare efectuate de către întreprinderea noastră în străinătate se numără: Centralele termice Berlin Lichtenberg și Rostock (R.D.G.) Rafinăria Zarka (Iordania), Fabrica de Ciment AlCaim și Rafinăria Banias (Siria), Silozul Misurata și Stațiile de irigații Wadi-Nina (Libia), Fabrica de Ciment Sibiline (Liban), Fabrica de Ciment Assiut și Fabricile de Vagoane Alexandria și El Wasta (Egipt), CET și Turbina de 50 MW CEBU (Filipine), Fabrica de Ciment Plevia (Jugoslavia).

În afara lucrărilor de montaj, I.A.M.S.A.T. asigură lucrări de „Service" și asistență tehnică în străinătate din care se menționează: lucrările de irigații din Irak, Rafinăria Banias Complex TSP Homs, Fabrica de Ciment Sheik-Said (Siria), Fabricile de Ciment Lasbella și Khahat (Pakistan), Fabrica de Ciment Hnai-Hai și complexul chimic DAP (R.P. Chineză).

Prin succesele dobîndite an de an, întreprinderea noastră a început să urce în clasamentul unităților în întrecerea socialistă, ocupînd locuri fruntașe pentru prima oară în anii 1981 și și 1982, pentru ca în anul 1983 realizările obținute să situeze întreprinderea pe locul I și să obțină, pentru prima oară, Ordinul Muncii clasa I-i.

Din acest moment, muncind cu devotament și abnegație colectivul de oameni ai muncii din I.A.M.S.A.T. au obținut de încă 3 ori consecutiv Ordinul Muncii cl. I-i, ceea ce a condus în acest an la decernarea întreprinderii noastre de către conducerea de partid și de stat, a înaltului titlu de EROU AL MUNCII SOCIALISTE, prilej de deosebită satisfacție și mîndrie patriotică pentru întreg colectivul de oameni ai muncii al întreprinderii noastre.

Evident că această scurtă prezentare nu poate să arate decît parțial realizările obținute de I.A.M.S.A.T. într-un sfert de veac de existență.

Dacă pe parcursul celor 25 de ani de existență I.A.M.S.A.T. s-a confruntat cu situații grele, cu dificultăți dintre cele mai diverse, este meritul harnicului colectiv al întreprinderii noastre de a fi izbutit de fiecare dată să găsească soluții și de a fi ieșit mereu mai puternic din încercările trecute. Ori acest lucru a fost posibil numai prin muncă, prin disciplină, prin neprecupețirea nici unui efort pentru creșterea prestigiului întreprinderii.

În acest moment de bilanț rodnic pentru I.A.M.S.A.T., mulțumim din inimă pentru sprijinul permanent acordat de organele de partid, care ne-au ajutat continuu, dîndu-ne orientările necesare, nelăsînd să-și facă loc între noi tendințele de automulțumire, asigurîndu-ne condiții de desfășurare ritmică a activității noastre.

CZ 621.392.2

POLIETILENTEREFTALAT
TEMPERATURI CRIOGENICE

Localizarea și migrarea sarcinilor în polietilentereftalat la temperaturi criogenice

R. CRAMARIUC, S. JIPA, D. ILIE, S. ILIE, C. CAZAC, R. SETNESCU, C. RĂDULESCU, T. SETNESCU *, I. MIHALCEA, J. PĂUN ** — BUCUREȘTI

Introducere

Polietilentereftalatul (PET) este un poliester cu largi aplicații în industria electrotehnică datorită caracteristicilor dielectrice superioare. În ciuda acestui fapt, sînt întreprinse încă numeroase studii pentru aprofundarea mecanismului dependenței de temperatură a caracteristicilor sale electrice. Cu tot efortul depus pînă în prezent, nu este încă bine cunoscută modalitatea de transport a purtătorilor de sarcină în acest polimer. La aceasta, firește, contribuie existența unor capcane de electroni și de goluri în material.

Pentru studierea capcanelor de electroni în polimeri s-au folosit tehnici de măsurare a curenților termostimulați (TSC) [1], termoluminescențe (TL) [2], măsurători simultane de TSC și TL [3], precum și determinarea curenților de descărcare fotostimulați (PSDC) [4]. Studiile au arătat existența unei strînse corelații între procesul de eliberare termostimulată a purtătorilor de sarcină din capcane și mișcările moleculare [5,6]. Se știe că, la temperaturi inferioare celei de vitrifiere segmentele de catenă ale unui polimer execută mișcări în jurul unor poziții fixe, într-o cvasirețea. Entitățile implicate în mișcările moleculare care au loc în acest domeniu de temperatură diferă în funcție de structura polimerului, putînd fi catenele laterale, grupări metilenice din lanțul principal sau segmente de lanț ce conțin heterocatomi. Studiul mișcărilor moleculare — în fapt fenomene de relaxare — care au loc în PET au format obiectul mai multor cercetări întreprinse cu tehnici diferite, cum sînt pierderile mecanice-dinamice, pierderile dielectrice, spectrometria de ultrasunete, rezonanța magnetică nucleară, rezonanța electrică de spin ș.a. [7 — 20].

Prezenta lucrare își propune aplicarea metodei de radiotermoluminescență (RTL) la studierea capturării sarcinilor radioinduse în PET la temperatura azotului lichid. Se urmărește totodată evidențierea mișcărilor moleculare responsabile pentru eliberarea termostimulată a purtătorilor de sarcină din capcane și recombinarea lor radiativă.

Tehnica experimentală

S-au luat în studiu probe de PET de producție indigenă, sub formă de folie, cu grosimea de 50 μm.

Pentru înregistrarea semnalului de RTL s-a utilizat un criostat de construcție simplă cuplat cu un tub fotomultiplicator EMI-9958 QA și un înregistrator X-Y ORION — EMG, tip NE — 230. Variația temperaturii în timpul înregistrării semnalului de RTL a fost urmărită cu ajutorul unui termocuplu fier-constantan, la viteza de încălzire de 1,5°C/s. Înainte de înregistrarea emisiei de RTL, proba răcită la temperatura azotului lichid a fost iradiată cu radiații gama de °Co la doza de 4 krad.

În vederea studierii modificărilor radioinduse în PET, probele au fost preiradiate în aer, la temperatura camerei, în intervalul de doze 0 — 40 Mrad, utilizînd în acest scop un accelerator de electroni de tip Van der Graaff.

Rezultate și discuții

Figura 1 arată curba de RTL a probei de PET, din care se observă prezența unui maxim de strălucire situat la 143 K. Asimetria acestei curbe de RTL lasă să se întrevadă posibilitatea existenței unui umăr pe porțiunea sa descendentă, a cărui localizare este însă dificilă datorită vitezei mari de încălzire a probei (90°/min).

Termoluminescența polietilentereftalatului, indusă prin iradiere cu radiații ionizate (RTL), precum și cea fotoindusă cu radiații ultraviolete (uvTL) a format obiectul mai multor studii [21 — 27]. Literatura de specialitate indică pentru PET curbe de strălucire cu 1 — 3 maxime, a căror poziție diferă de la autor la autor (tabelul 1). O explicație posibilă a acestor necorelări o constituie diversitarea condițiilor experimentale folosite de autori, cunoscută fiind influența unor factori ca natura probei, puritatea, forma fizică, tratamentul aplicat anterior, viteza de încălzire ș.a., asupra emisiei

* Dr. ing. *Radu Cramariuc*, dr. chim. *Silviu Jipa*, chim. *Diana Ilie*, dr. chim. *Sorin Ilie*, dr. ing. *Constantin Cazac*, chim. *Radu Setnescu*, fiz. *Călin Rădulescu*, chim. *Tanța Setnescu* — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — ICPE București.

** Lector dr. chim. *Ion Mihalcea*, conf. dr. chim. *Jean Păun* — Institutul Politehnic — București.

de termoluminescență. Cu toate acestea, majoritatea autorilor indică prezența unui maxim de strălucire situat în intervalul de temperatură de 140 — 150 K, ceea ce corespunde poziției temperaturii maximului de RTL înregistrat în prezenta lucrare.

Preiradierea probelor de PET cu electroni accelerați pînă la doze de maximum 40 Mrad a condus pe de o parte la o creștere medie a intensității emisiei de RTL cu aproximativ 25%, iar pe de altă parte la o ușoară deplasare

Tabelul 1

Forma probei	Tipul emisiei	Viteza de încălzire, grad/min	Temperatura în maximele curbei RTL, K	Autorul
Film	RTL	8	102, 257, 277	Padhye și Tamhane [23]
Film	uvTL	6	153	Takai și colab. [6, 24]
Film	uvTL	5	133, 143, 168	Ito și Nakakita [25]
Fibră TERITAL	uvTL	72	142	Aramu și colab. [26]
Fibră VESTAN	uvTL	72	155	
Fibră DACRON	uvTL	72	175	
Fibră DACRON	uvTL	28	149	Dane [27]

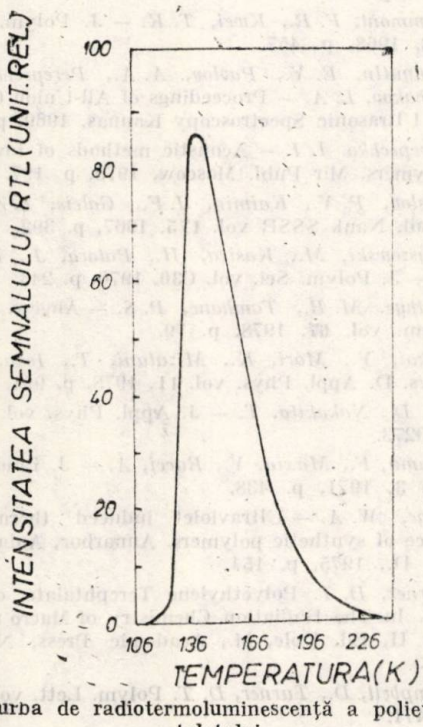


Fig. 1. Curba de radiotermoluminescență a polietilentereftalatului.

a temperaturii maximului de strălucire spre valori mai mari (fig. 2). Semilățimea maximului de strălucire s-a situat în intervalul a 36 — 39 K pe tot domeniul de doze folosit.

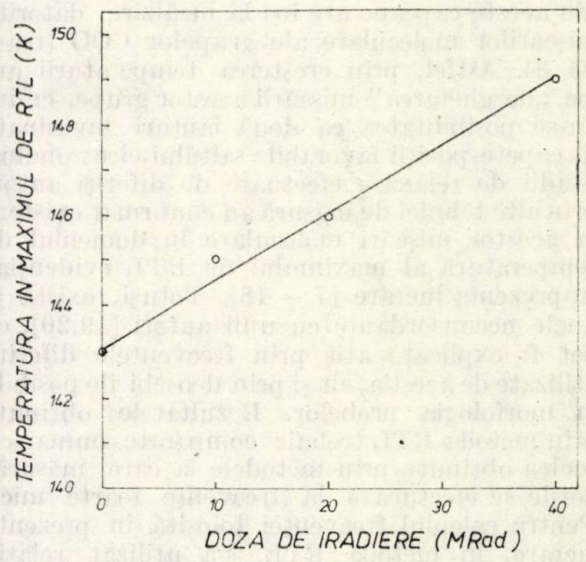


Fig. 2. Deplasarea temperaturii maximului de strălucire al PET cu doza de preiradiere.

Înregistrarea semnalului de RTL la PET și creșterea intensității acestui semnal la preiradierea probelor este un indiciu al recombinării radiative a purtătorilor de sarcină eliberați din capcane și implicit al transportului acestora în probă la temperaturi criogenice. Mecanismul emisiei de RTL a acestui polimer poate fi formulat prin următoarele secvențe de reacții :

$$PET \longrightarrow (PET)^{+} + e^{-} \qquad (1)$$

$$(PET)^{+} + e^{-} \longrightarrow [(PET)^{+}\ e^{-}] \qquad (2)$$

$$[(PET)^{+} \ldots e^{-}] \xrightarrow[\text{moleculare}]{t^{\circ}\ \text{mișcări}} (PET)^{+} + e^{-} \qquad (3)$$

$$(PET)^{+} + e^{-} \longrightarrow (PET)^{*} \longrightarrow PET + (h\nu)_{RTL} \qquad (4)$$

Reacția (1) reprezintă procesul de ionizare care are loc, la temperatura azotului lichid, în actul primar de radioliză a polimerului. Ionizarea poate avea loc la orice grupare moleculară a lanțului polimeric. Turner [28] arată că potențialul de ionizare al acestui polimer este de ~ 9 eV, Campbell și colab. [29], deduc din spectrul de absorbție în ultraviolet că cea mai joasă stare excitată este de 4 eV, Pasalsky și colab., [30] evidențiază, prin rezonanță electrică de spin, existența la 77 K a unui radical-ionic pozitiv. Dovezi experimentale asupra existenței speciilor încărcate în PET sînt aduse și de studiile de conductivitate radioinduse întreprinse de Fowler [31], Turner [32] și de Cheney și colab., [33].

Sarcina pozitivă, formată la ionizare, poate migra de-a lungul lanțului pînă la grupările tereftalice care joacă atît rolul de capcane de

sarcini pozitive, cît și de centri de luminescență (centri de recombinare).

Procesul descris de reacția (2) reprezintă autocapturarea electronului la ionul pozitiv, prin forțe coulombiene. Eliberarea electronilor din aceste capcane are loc la încălzire, datorită mișcărilor moleculare ale grupelor COO (reacția 3). Astfel, prin creșterea temperaturii are loc „dezghețarea" mișcării acestor grupe, creîndu-se posibilitatea ca două lanțuri învecinate să capete poziții favorabile saltului electronului. Studii de relaxare efectuate de diferiți autori prin alte tehnici de măsură au confirmat existența acestor mișcări moleculare în domeniul de temperatură al maximului de RTL evidențiat în prezenta lucrare [7 — 18]. Totuși, există și unele neconcordanțe cu unii autori [19,20], ce pot fi explicate atît prin frecvențele diferite utilizate de aceștia, cît și prin deosebirile posibile în morfologia probelor. Rezultatele obținute prin metoda RTL trebuie comparate numai cu acelea obținute prin metodele la care măsurătorile se efectuează la frecvențe foarte mici. Pentru calculul frecvenței folosită în prezenta lucrare, în metoda RTL, s-a utilizat relația lui Van Turnhout [23]:

$$\nu_e \simeq 0{,}113\, qE/KT_m^2,$$

unde:

ν_e — este frecvența echivalentă măsurătorii de RTL (Hz);

q — viteza de încălzire a probei (°K/s);

E — energia de activare a mișcării moleculare (eV);

K — constanta lui Boltzmann ($8{,}61 \cdot 10^{-5}$ eV/°K);

T_m — temperatura în maximul de RTL (°K).

Înlocuind în relația de mai sus $q = 1{,}5$ K/s, $E = 0{,}27$ eV și $T_m = 143$ K, s-a obținut frecvența de $\nu_e = 2{,}63 \cdot 10^{-2}$ Hz. Valoarea energiei de activare folosită în calculul de mai sus al frecvenței reprezintă o medie a valorilor obținute aplicînd metodele Garlick-Gibson[35], Urbach [36], Grossweiner [37] și Randall-Wilkins [38] pentru determinarea acestui parametru, din analiza curbei de RTL. Valoarea de 0,27 eV, obținută în prezenta lucrare, este în concordanță satisfăcătoare cu valorile de 0,23 eV obținute de unii autori prin măsurători de uvTL [24-26] sau cu cea de 0,28 eV obținută prin tehnica depolarizării termostimulate [39].

Procesul de recombinare a purtătorilor de sarcină descris de reacția (4) arată formarea, în primul stadiu, a moleculei de PET excitată urmată de eliminarea energiei de recombinare, sub forma emisiei de RTL cu revenirea moleculei de PET la starea fundamentală.

Creșterea intensității emisiei de RTL cu doza de preiradiere poate fi explicată fie prin creșterea numărului de capcane de electroni la iradiere, fie prin micșorarea distanței medii ce separă speciile la ionizare, ca urmare a transformărilor radiolitice survenite în structura polimerului.

Bibliografie

[1] *Creswell, R., Perlman, M.M.* — J. Appl. Phys. vol. **41**, 1970, p. 2365.

[2] *Charlesby, A., Partridge, R. H.* — Proc. Roy. Soc. vol. **A 283**, 1964, p. 312.

[3] *Blake, A. E., Charlesby, A., Randle, K. J.* — *J. Phys. D.* vol. **7**, 1974, p. 759.

[4] *Takai, Y., Mori, K., Mizutani, T., Ieda, M.* — Jpn. J. Appl. Phys. vol. **16**, 1977, p. 1937.

[5] *Ranicar, J. H., Fleming, R. J.* — J. Polym. Sci. vol. **10**, 1972, p. 1979.

[6] *Takai, Y., Mori, K., Mizutani, T., Ieda, M.* — J. Polym. Sci. vol. **16**, 1978, p. 1861.

[7] *Reddish, W.* — Trans. Faraday Soc. vol. **46**, 1950, p. 459.

[8] *Farrow, G., McIntosh, J., Ward, M. I.* — Makromol. Chem. vol. **38**, 1960, p. 147.

[9] *Illers, K. H., Breuer, H. J.* — Colloid. Sci. vol. **18**, 1963, p. 1.

[10] *Armeniades, C. D., Baer, E.* — J. Polym. Sci. vol. A **29**, 1971, p. 1345.

[11] *Yamazaki, S., Tanaka, K.* — Rep. Prog. Polym. Phys. Jpn. vol. **18**, 1975, p. 465.

[12] *Takayanagi, M., Yoshino, M., Minami, Sh.* — J. Polym. Sci. vol. **61**, 1962, p. 7.

[13] *Dumbleton, J. H., Murayama, T.* — Kolloid. Z. vol. **220**, 1967, p. 41.

[14] *Kawaguchi, T.* — J. Polym. Sci. vol. **32**, 1958, p. 417.

[15] *Thompson, A. B., Woods, D. W.* — Trans. Faraday Soc. vol. **52**, 1956, p. 1383.

[16] *Pinnock, P. R., Ward, J. M.* — Polymer vol. **7**, 1965, p. 225.

[17] *Zachman, H. G., Scherman, W.* — *Kolloid Z.* vol. **241** 1970, p. 916.

[18] *Dammont, F. R., Kwei, T. K.* — J. Polym. Sci. vol. A **6**, 1968, p. 457.

[19] *Malyutin, E. V., Pavlov, A. A., Perepechko, I. I., Ushakov, L. A.* — Proceedings of All-Union Conference on Ultrasonic Spectroscopy Kaunas, 1969, p. 17.

[20] *Perepechko, I. I.* — Acoustic methods of investigating polymers. Mir Publ. Moscow, 1975, p. 197.

[21] *Koslov, P. V., Kaimin, J. F., Galeis, Z. Z.* — Dokl. Akad. Nauk SSSR vol. **175**, 1967, p. 392.

[22] *Kryszewski, M., Kasica, H., Palora, J., Piotrowski, J.* — J. Polym. Sci. vol. C**30**, 1970, p. 243.

[23] *Padhye, M. R., Tamhane, P. S.* — Angew. Makrom, Chem. vol. **67**, 1978, p. 79.

[24] *Takai, Y., Mori, K., Mizutani, T., Ieda, M.* — J. Phys. D. Appl. Phys. vol. **11**, 1978, p. 991.

[25] *Ito, D., Nakakita, T.* — J. Appl. Phys. vol. **51**, 1980, p. 3273.

[26] *Aramu, F., Maxia, V., Rucci, A.* — J. Luminescence, vol. **3**, 1971, p. 438.

[27] *Dane, W. A.* — Ultraviolet induced thermoluminescence of synthetic polymers. Annarbor, Auburn Univ. Ph. D., 1975, p. 154.

[28] *Turner, D. T.* Polyethylene Terephtalate, cap. 8, p. 137. In The Radiation Chemistry of Macro molecules, vol. **II**, Ed. Dole, M., Academic Press, New York, 1973.

[29] *Campbell, D., Turner, D. T.* Polym. Lett. vol. **5**, 1967, p. 471.

[30] *Pasalsky, B. K., Lavrentovich, Ya. I., Vonsyatzki, V. A., Kabakchi, A. M.* Proceedings of the fourth Tihany symposium on radiation chemistry. Budapest 1977, p. 655.
[31] *Fowler, J. F.* Prov. Moy. Soc. vol. A**236**, 1956, p. 464.
[32] *Turner, D. T.* J. Polym. Sci. vol. D**5**, 1971, p. 229.
[33] *Cheney, G. T., Compton, D. M., Poll, R. A.* J. Appl. Phys. vol. **36**, 1965, p. 2434.
[34] *Van Turnhout, J.* Thermally stimulated discharge of polymer electrets Elsevier, Amsterdam, 1975, p. 92.
[35] *Garlick, G. F. J., Gibson, A. F.* Proc. Phys. Soc. vol. **60**, 1948, p. 574.
[36] *Urbach, F.* Cornell Symposium, Wiley, Hew York, 1946, p. 115.
[37] *Grossweiner, L. J.* J. Appl. Phys. vol. **24**, 1953, p. 1306.
[38] *Randall, J., Wilkins, M.* Proc. Roy. Soc. London vol. N**184**, 1948, p. 366.
[39] *Hino, T., Şitamura, Y.* J. Inst. Electr. Eng. Jpn. vol. **95** —A, 1975, p. 71.

CZ: 621.315.6

RADIOTERMOLUMINESCENȚĂ
RĂȘINI POLIESTERICE

Radiotermoluminescența unor rășini poliesterice și epoxidice

W. PEKALA, M. PIETRZAK, H. SZALINSKA*, S. JIPA, D. ILIE, S. ILIE, C. CAZAC, R. SETNESCU, C. RĂDULESCU**

Introducere

Utilizarea radiațiilor ionizate în tehnologia de obținere a compozitelor și a turnatelor de uz electrotehnic reclamă folosirea unor rășini poliesterice sau epoxidice nesaturate [1 — 10]. Un inconvenient al rășinilor poliesterice îl constituie însă concentrația de volum la întărire, efect ce poate fi diminuat prin introducerea unor mici cantități de oxizi metalici [11 — 15] sau de rășini epoxidice modificate [16 — 17]. O cunoaștere aprofundată a efectului diferiților aditivi asupra contradicției rășinii impune, în mod firesc, asocierea unor metode de analiză a noilor structuri obținute. Una dintre acestea este metoda radiotermoluminescenței (RTL), folosită curent în studiul structurii polimerilor [18 — 21]. Ea constă în înregistrarea emisiei de lumină a unei probe iradiate, la încălzirea acesteia de la temperatura azotului lichid la temperatura camerei.

Lucrarea analizează radiotermoluminescența unor rășini de tip poliester nesaturat și epoxidic în scopul evidențierii modificărilor structurale induse la întărirea acestora prin iradiere cu radiații ionizate, precum și influența aditivilor de reducere a contracției asupra emisiei de RTL și a caracteristicilor fizico-mecanice.

* Prof. dr. ing. Pekala, W., dr. ing. Pietrzak, M., ing. Szalinska, H. — Institutul de Radiochimie Aplicată — Lódz. R. P. Polonă; ** dr. chim. Jipa, S., chim. Ilie, D., dr. chim. Ilie, S., dr. ing. Cazac, C., chim. Setnescu, R., fiz. Rădulescu, C. — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — ICPE București.

Tehnica experimentală

S-a folosit rășina poliesterică nesaturată NESTRAPOL — 450 (N — 450), ca atare și aditivată cu oxizi metalici (MgO, CaO, BaO, ZnO), precum și rășina epoxidică DINOX 010 (D — 010), nemodificată și modificată cu acrilamidă, după procesul descris de Pietrzak și Brzostowski [17] (0,3 moli acrilamidă/mol grupare epoxi; refluxare la 115°C timp de 20 ore).

Pentru iradierea (întărirea) rășinilor s-a folosit o sursă de radiații gama de ^{137}Cs de tip GAMMATOR — M — 34 — 2.

Pentru înregistrarea semnalului de RTL s-a utilizat un criostat de construcție proprie, cuplat la un fotomultiplicator EMY — 9558 QA și un înregistrator X — Y. Variația temperaturii în timpul încălzirii probei s-a urmărit cu un termocuplu cupru-constantan, la viteza de încălzire de 90°C/min.

Contracția de volum a rășinilor întărite prin iradiere s-a determinat prin compararea volumului rășinii întărite cu volumul celulei de iradiere, după procedeul descris în lucrarea [22].

Pentru urmărirea evoluției temperaturii în timpul iradierii (întăririi) rășinii s-a utilizat un montaj constînd dintr-un termocuplu fier-constantan introdus în interiorul celulei de iradiere și cuplat cu un înregistrator XY.

Caracteristicile electrice — tangenta unghiului de pierderi dielectrice, permitivitatea dielectrică și rezistivitatea de volum — ale materialelor termorigide studiate s-au determinat utilizînd metodele descrise în STAS 2740-69 și STAS 6107-81.

Măsurarea durității Höppler s-a efectuat cu un consistometru bazat pe metoda punctului de curgere conică.

Rezultate și discuții

Figura 1 prezintă curbele de strălucire ale unor probe de rășină poliesterică nesaturată de tip N — 450, fără aditivi, înainte și după iradiere la doza de gelifiere a rășinii. Se constată că structura curbei de strălucire se modifică

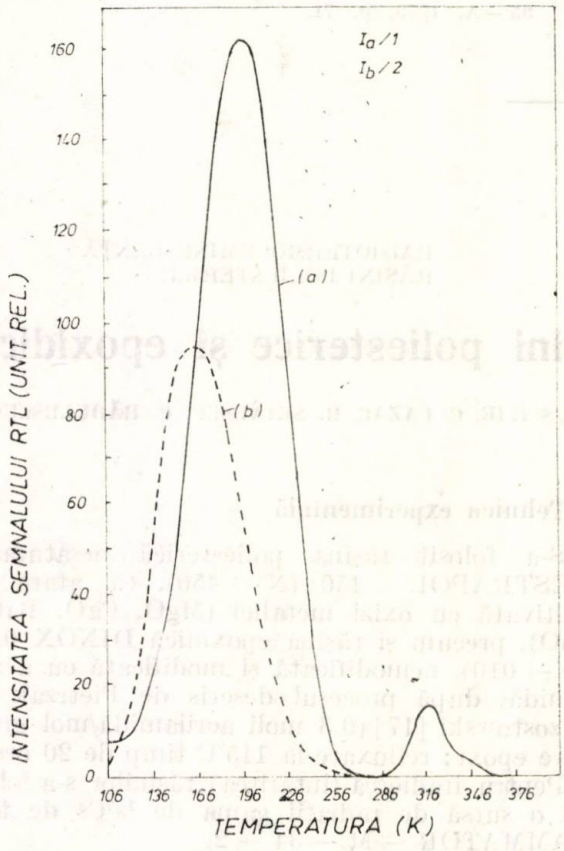


Fig. 1. Curba de strălucire a rășinii poliesterice N-450, fără aditivi : neîntărită (a) și gelifiată (b) prin iradiere în prezența oxigenului.

prin întărirea rășinii, atît în privința intensității emisiei, cît și a numărului și a poziției maximelor. Astfel, rășina neîntărită prezintă un maxim proeminent situat la 196 K și un al doilea maxim, de intensitate mai mică, la 316 K. Pe măsura întăririi radioinduse a rășinii în prezența aerului, intensitatea maximului proeminent crește, în timp ce intensitatea celui de al doilea maxim scade drastic, dispărînd la doza de ~ 0,5 Mrad (fig. 2). Dispariția maximului de strălucire situat la 316 K în procesul iradierii lasă să se întrevadă posibilitatea corelării acestuia cu o impuritate care suferă un proces radiolitic.

La întărirea rășinii N — 450 fără aditivi, în absența oxigenului, localizarea maximelor de strălucire rămîne neschimbată; depedența intensității emisiei de RTL de doza de iradiere este ilustrată de curba prezentată în figura 3. Trebuie menționat însă faptul că intensitatea

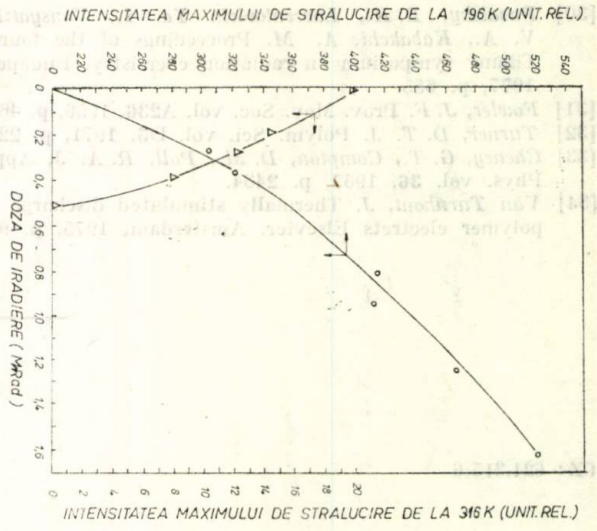


Fig. 2. Variația intensității maximelor de strălucire ale rășinii N-450 fără aditivi, cu doza de iradiere, în prezența oxigenului.

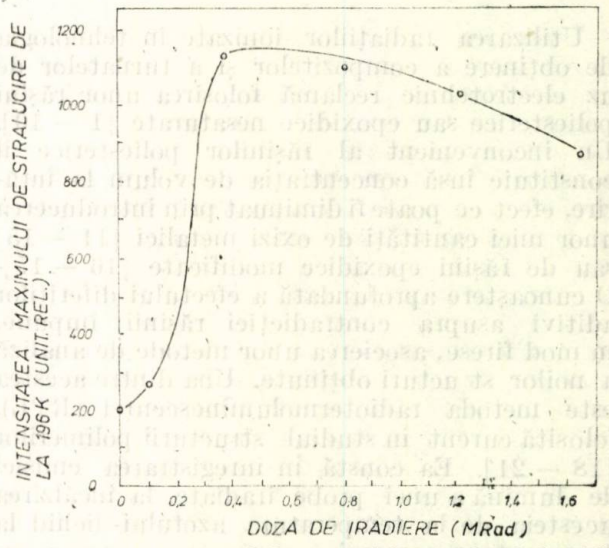


Fig. 3. Variația intensității maximului proeminent de strălucire al rășinii N-450 fără aditivi, cu doza de iradiere, în absența oxigenului.

emisiei de RTL a probelor întărite în vid este mai mare în comparație cu cea a probelor întărite în prezența oxigenului. Efectul oxigenului asupra intensității de RTL sugerează existența unor capcane de electroni, concurente, de tip „cavitate moleculară" menționate de Partridge [23] în cazul altor polimeri. Astfel, oxigenul poate capta electroni cînd este inclus într-o matrice polimerică perturbînd structura acesteia, în imediata sa vecinătate, și formînd o cavitate.

Independent de prezența sau absența oxigenului, în timpul întăririi rășinii, s-a evidențiat

o scădere a temperaturii în maximele curbei de strălucire cu creşterea dozei de iradiere aşa cum rezultă din figura 4. Această deplasare indică faptul că în ciuda structuralizării răşinii prin iradiere (copolimerizare-reticulare) capcanele responsabile pentru emisia de RTL devin şi mai superficiale permiţînd eliberarea purtătorilor de sarcină la energii de activare mai mici (tabelul 1).

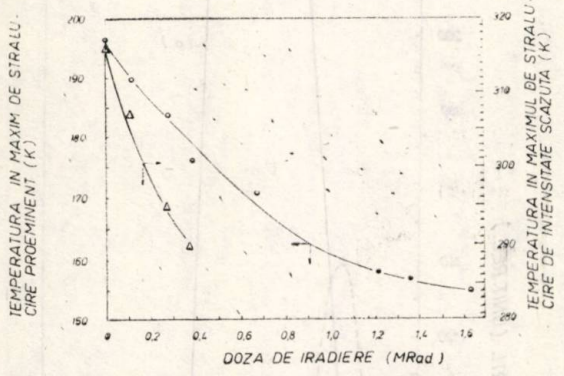


Fig. 4. Deplasarea temperaturii în maximele curbei de strălucire ale răşinii N-450, fără aditivi, în funcţie de doza de iradiere.

Tabelul 1

Doza de iradiere, Mrad	Temperatura în maximul proeminent, K	Energia de activare, eV a mişcării moleculare calculată după metoda:			
		Grossweiner [24]	Luschik [25]	Kelly—Laubitz [26]	Media
0	196	0,126	0,100	0,122	0,116
0,09	190	0,119	0,098	0,115	0,111
0,26	184	0,110	0,088	0,106	0,101
1,17	158	0,109	0,074	0,105	0,096
1,30	157	0,098	0,071	0,094	0,088

La formularea mecanismului emisiei de RTL a răşinii poliesterice nesaturate N — 450 s-au luat în considerare rezultatele obţinute de Takahashi [27] şi Tsumura [28] privind radioliza răşinilor poliesterice nesaturate. Aceşti autori au avidenţiat formarea unor cationi ai poliesterului, de forma:

$$\sim(R)_m-O-\dot{C}-(R)_n\sim \;;\; \sim(R)_m-O-\underset{\|}{\overset{\dot{}}{C}}-(R)_n\sim$$
$$\qquad\qquad \|\dot{} \qquad\qquad\qquad\qquad \|\dot{}$$
$$\qquad\quad O^+ \qquad\qquad\qquad\quad O^+$$

sau:

$$\sim(R)_m-(O-C)^+-(R)_n\sim,$$

prin reacţia:

$$\sim(R)_m-O-\underset{\|}{C}-(R)_n\sim \longrightarrow$$
$$\qquad\quad O^{(+)}$$
$$\qquad\quad \|$$
$$\qquad\quad O$$

$$\sim(R)_m-(CE)^+-(R)_n\sim+e^- \qquad (1)$$

în care prin $\sim(R)_m-(CE)^+-(R)_n\sim$ s-au notat cationii menţionaţi ai poliesterului. Capturarea electronului apărut în actul radiolitic, primar ar putea avea loc fie datorită reorientării grupărilor polare, cauzată de cîmpul coulombian al electronului mobil, fie datorită unui radical-anion esteric a cărui existenţă a fost dovedită prin studii de RES [28,29]. Maximul de strălucire situat la 196 K este rezultatul recombinării radiative a electronului eliberat din capcanele menţionate mai sus, ca urmare a începerii unor mişcări moleculare la această temperatură. Rezultatele studiilor lui Pohl [30,31] utilizînd metoda oscilaţiilor de torsiune, precum şi cele ale lui Tanaka [32] folosind dependenţa de temperatură a volumului specific şi respectiv a pierderilor mecanice, au confirmat apariţia, în domeniul de temperatură 173 — 213 K, a unei tranziţii γ, ca urmare a mişcării grupărilor metilenice ale lanţului poliesteric. Deşi în structura unei unităţi a poliesterului există numai două grupări metilenice învecinate, relaxarea γ poate să apară întrucît aceste grupări sînt cuplate cu legături flexibile C—O.

Procesul de recombinare radiativă a purtătorilor de sarcină poate fi descris prin reacţiile:

$$\sim(R)_m-(CE)^+-(R)_n\sim+e_c \rightarrow$$

$$\rightarrow\sim(R)_m-(O-\overset{*}{C})-(R)_n\sim, \qquad (2)$$
$$\qquad\qquad\qquad\quad \|$$
$$\qquad\qquad\qquad\quad O$$

$$\rightarrow(R)_m-(O-\overset{*}{C})-(R)_n\sim \rightarrow$$
$$\qquad\qquad\quad \|$$
$$\qquad\qquad\quad O$$

$$\rightarrow\sim(R)_m-O-\underset{\|}{C}-(R)_n\sim+(h\nu)_{RTL}. \qquad (3)$$
$$\qquad\qquad\quad O$$

Aditivarea răşinii poliesterice N — 450 cu oxizi ca: MgO, CaO, BaO şi ZnO, la concentraţii cuprinse în intervalul 0,5—3% în greutare, a condus pe de o parte la obţinerea unei curbe de strălucire cu un singur maxim, situat la 190 K, de intensitate inferioară celui al probei neaditive, iar pe de altă parte la o micşorare a contracţiei (tabelul 2). Contracţia observată poate fi explicată astfel: atomul polar de metal, formînd legături de coordinaţie, atrage grupările polare ale lanţurilor adiacente şi prin aceasta întregul lanţ, răşinii crescîndu-i vîscozitatea. Această contracţie în fază lichidă se manifestă numai în zona de interacţie a atomilor de metal. Contracţia ulterioară a răşinii, în faza de întărire radioindusă, are loc în zonele fără atomi de metal. Datorită agregării grupărilor —COO—M—COO— şi coordonării grupărilor carboxilice terminale la ionii metalici, răşina va prezenta o structură spaţială [14, 15, 22].

Scăderea intensităţii emisiei de RTL la introducerea oxizilor metalici în răşina N — 450 indică faptul că electronii pot fi capturaţi în

Tabelul 2

Compoziția, % în greutate	Intensitatea de RTL, unit. rel.	Contracția, %	Compoziția, % în greutate	Intensitatea de RTL, unit. rel.	Contracția, %
N—450	1174	7,9	N—450 + + CaO (3,0)	326	2,3
N—450 + MgO (0,5)	728	5,1	N—450 + + BaO (1,0)	609	2,6
N—450 + MgO (1,0)	665	2,5	N—450 + + ZnO (0,5)	760	6,1
N—450 + MgO (3,0)	397	2,3	N—450 + + ZnO (1,0)	621	2,5
N—450 + CaO (1,0)	570	2,4	N—450 + + ZnO (3,0)	400	2,5

vecinătatea cationilor metalici, unde se pot stabiliza în forma unor perechi ionice de tipul :

$$M^+ + e_c^-(e^- \rightarrow \ldots\ldots M^+). \qquad (4)$$

Prin urmare cationii metalici prezenți în rășinile poliesterice aditivate acționează drept capcane de electroni, procesul neradiativ (4) fiind concurent procesului radiativ (3). Scăderea intensității emisiei de RTL a probelor de rășină N — 450 aditivate cu oxizi metalici poate fi atribuită, în principal, stabilizării electronului în vecinătatea cationilor metalici. În plus, așa cum arată datele din tabelul 2, intensitatea emisiei de RTL scade considerabil la creșterea conținutului de aditiv oxidic în probă. Acest efect ar putea fi explicat fie prin creșterea adîncimii capcanelor din vecinătatea cationului, fie printr-un transfer de energie complecșilor formați prin coordinare [34].

Un alt obiectiv al prezentei lucrări l-a constituit utilizarea metodei RTL la studierea omogenității amestecurilor de rășină poliesterică N — 450 cu rășină epoxidică D-010, amestec realizat, de asemenea, în scopul diminuării contracției de volum la întărirea radioindusă. Aditivarea rășinilor poliesterice cu rășini epoxidice modificate în vederea micșorării contracției la întărirea prin iradiere a format obiectul mai multor studii [16, 17].

Aditivarea rășinii poliesterice N — 450 cu rășina epoxidică D — 010 nemodificată și, respectiv, modificată cu acrilamidă, la concentrații cuprinse între 10 și 20 % în greutate, a condus la diminuarea contracției de volum de la 8 % la aproximativ 2,3 % în ambele cazuri. Efectul obținut este datorat faptului că în structura rășinii epoxidice există lanțuri ce conțin grupări dian, cu volum mare [17].

Figura 5 prezintă curbele de strălucire ale rășinii epoxidice D — 010 nemodificată și a celei modificată cu acrilamidă. Rășina nemodificată prezintă o curbă de strălucire cu două maxime, dintre care unul larg, situat la 235 K, de intensitate foarte mare și un altul de intensitate scăzută, localizat la 316 K, în timp ce rășina modificată prezintă un singur maxim, de intensitate medie, localizat la 170 K. Maximul de strălucire proeminent situat la 235 K, poate fi asociat tranziției determinată de mișcarea unor elemente de lanț cu structura $-CH_2-CH(OH)-CH_2-O-$. Perepechko și colab. [35, 36], folosind metode acustice de analiză au confirmat existența la rășinile epoxidice a acestor tranziții la temperatura menționată. Începerea acestor mișcări moleculare la această temperatură determină eliberarea purtătorilor de sarcină din capcane și recombinarea lor radiativă. Prin modificarea rășinii epoxidice cu acrilamidă maximul de strălucire este localizat la 170 K, denotînd implicarea altor mișcări moleculare în eliberarea purtătorilor de sarcină din capcane.

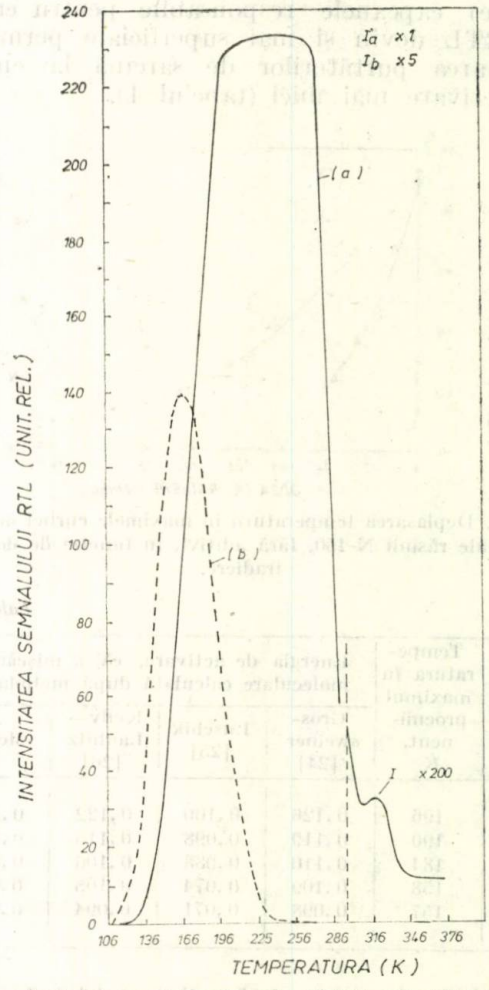


Fig. 5. Curbele de strălucire ale rășinii epoxidice D-010 : nemodificată (a) și modificată cu acrilamidă (b).

Tabelul 3 prezintă caracteristicile de RTL ale curbelor de strălucire înregistrate în cazul amestecurilor de rășină poliesterică nesaturată N —

Tabelul 3

Conținut de rășină DINOX-010 nemodificată și modificată, % în greutate	Temperatura în maximul principal de strălucire, K		Intensitatea de RTL, unit. rel.	
	D-010 nemodificat	D-010 modificat	D-010 nemodificat	D-010 modificat
0	196	196	1170	1170
10	220	194	1416	1380
20	196	193	4964	1478
30	212	190	6384	1628
50	196	194	41.475	5998
65	232	193	139.130	7621
100	235	170	140.100	11.715

450 cu concentrații variabile de rășină epoxidică D — 010 nemodificată și respectiv modificată cu acrilamidă. Din analiza acestor date rezultă, pe de o parte, o creștere marcată a intensității semnalului RTL cu creșterea concentrației de rășină D — 010, iar pe de altă parte faptul că intensitatea semnalului RTL crește mult mai puternic în cazul probelor cu rășină D — 010 nemodificată. Prezența nucleelor aromatice în gruparea dian a rășinii expodice constituie motivul creșterii intensității semnalului de RTL știut fiind faptul că ciclul benzenic favorizează fie o capturare mai eficientă a sarcinii, fie o recombinare mai eficientă [37]. Creșterea mai moderată înregistrată în cazul folosirii rășinii D — 010 modificată cu acrilamidă ar putea fi explicată prin prezența grupărilor nesaturate cu rol de capcane concurente, neradiative.

Datele tabelului 3 arată, de asemenea, că temperatura în maximum de strălucire se situează între volorile tipice ale componentelor amestecului numai în cazul folosirii rășinii D — 010 modificată, denotînd existența, în acest caz, a unor amestecuri omogene din punct de vedere fizic. Așa cum au evidențiat unele studii de RTL [18] în cazul unui amestec caracterizat printr-o fază omogenă există un singur maxim RTL, a cărui temperatură se situează la o valoare intermediară față de temperaturile componenților. În cazul folosirii rășinii D — 010 nemodificată împrăștierea temperaturilor în maximul de RTL denotă neomogenitatea amestecului realizat cu rășina N — 450. O confirmare a existenței celor două tipuride amestecuri la folosirea rășinii D — 010 modificată și respectiv nemodificată, au adus-o măsurătorile caracteristicilor mecanice și electrice ale acestor probe (tabel 4). Din analiza acestor date rezultă obținerea unor caracteristici superioare în cazul folosirii rășinii D — 010 modificată cu acrilamidă, unde amestecul cu rășină N — 450 s-a găsit a fi omogen și, în plus, prezența nesaturării la ambele componente, determină o reacție de copolimerizare radioindusă. Valorile inferioare ale caracteristicilor dielectrice înregistrate în cazul folosirii rășinii D — 010 nemodificată se explică prin existența unui proces de polarizație de neomogenitate.

Urmărirea evoluției temperaturii în procesul de întărire radionidusă a amestecurilor luate în studiu a condus la rezultatele prezentate în tabelul 5. Se constată că, în cazul întăririi amestecurilor de rășină poliesterică N — 450 cu rășină epoxidică D — 010 modificată cu acrilamidă, temperatura în maximum exoterm este mai mare decît în cazul compozițiilor cu rășină nemodificată. În mod corespunzător doza de gelifiere este mai mică la compozițiile cu rășină D — 010 modificată, comparativ cu cele cu rășină nemodificată. Aceasta reflectă, de fapt, o reactivitate chimică mărită a compozițiilor cu rășină epoxidicată, efect datorat nesaturării. Există, deci posibilitatea copolimerizării și reticulării și celor două componente ale amestecului, de unde rezultă și omogenitatea microstructurală a acestor compoziții, așa cum a reieșit din măsurătorile de RTL și confirmat de caracteristicile mecanice și electrice.

Tabelul 4

Concentrația de rășină D-010 nemodificată și modificată, % în greutate	Tangenta unghiului de pierderi dielectrice la 1 MHz și 20°C		Constanta dielectrică la 1 MHz și 20°C		Rezistivitatea de volum, Ω . cm		Duritatea, Höppler, kgf/cm²	
	N—450+ D—010 nemodificat	N—450+ D-010 modificat	N—450+ D-010 nemodificat	N—450+ D-010 modificat	N—450+ D-010 nemodificat	N—450+ D-010 modificat	N—450+ D-010 nemodificat	N—450+ D-010 modificat
0	0,0119	0,0119	3,7	3,7	$4 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{13}$	5936	5936
5	—	0,0130	—	3,0	—	$2{,}8 \cdot 10^{14}$	—	—
10	0,0126	0,0100	4,1	2,7	$5 \cdot 10^{13}$	$3{,}1 \cdot 10^{14}$	4834	5773
20	0,0157	0,0100	4,2	3,4	$6{,}5 \cdot 10^{13}$	$2{,}7 \cdot 10^{14}$	3750	4611
30	0,0150	0,0100	4,7	3,6	$6{,}7 \cdot 10^{13}$	$2{,}6 \cdot 10^{14}$	2900	3910
50	0,0285	—	5,4	—	$1 \cdot 10^{15}$	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	350	1200

Pentru asigurarea unei permanențe a caracteristicilor fizico-mecanice dorite este necesară cunoașterea unor detalii de structură ale acestor produse, metoda RTL oferind o cale complementară de caracterizare.

Tabelul 5

Concentrația de rășină -010 nemodificată și modificată, % în greutate	Temperatura maximului exoterm la întărirea radioindusă, °C		Doza de gelifiere, Mrad	
	N—450+ D-010 nemodificat	N-450+ D-010 modificat	N-450+ D-010 nemodificat	N-450+ D-010 modificat
0	41,0	41,0	0,26	0,26
10	22,4	27,8	0,45	0,42
20	19,4	25,2	0,60	0,39
30	17,8	23,0	0,73	0,35
50	16,0	22,0	0,78	0,29
65	15,0	21,5	0,78	0,23

Bibliografie

[1] * * * Brevet SUA nr. 3.247.o12, 19 aprilie 1966 (Cl. 117—93.31).

[2] * * * Brevet SUA nr. 3.546.002, 8 decembrie 1970 (Cl. C08f1/24).

[3] * * * Brevet SUA nr. 3.674.545, 4 iulie 1972 (Cl. C08F1/16).

[4] *Kagiya, T., Mitsui, H., Tsuneta, K., Mihara, H.* Brevet SUA nr. 3.857.768, 31 decembrie 1974 (Cl. C08d1/00).

[5] *Kinstle, J. F.* Brevet SUA nr. 3.929.935, 30 decembrie 1975 (Cl. C08 L33/08).

[6] *Marans, N. S., Gluecksmann, A.* Brevet SUA nr. 3.929.927, 30 decembrie 1975 (Cl. C0F2/46).

[7] *Hahn, E. A., Sirkoch, R. J.* Brevet SUA nr. 3.950.592, 13 aprilie 1976 (Cl.B.44d1/50).

[8] *St. Clair, D. J., Hansen, D. R.* Brevet SUA nr. 4.152.231, 1 mai 1979 (Cl. C08F8/00).

[9] *Miléo, J. C.* Revue de l'Institut Francais du Pétrole, vol. **31**, 1976, p. 665.

[10] *Pietsch, G. J.* Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop., vol. **9**, 1970, p. 149.

[11] *Eisenberg, A.* Macromolecules vol. **4**, 1971, p. 125.

[12] *Vancso-Szmercsanyi, I., Schilaggi, A.* J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. vol. **12**, 1974, p. 2155.

[13] *Matsuda, H., J. Macromol.* Sci. Chem., vol. A**10**, 1976, p. 1143.

[14] *Pietrzak, M., Szalinska, H.* Radiat. Phys. Chem., vol. **23**, 1984, p. 409.

[15] *Nistor, D., Ripszky, S., Izrael, Gh.* Materiale termorigide armate Ed. Tehnică, București, 1980, p. 172.

[16] *Pietrzak, M., Brzostowski, A.* Radiat. Phys. Chem., vol. **17**, 1981, p. 263.

[17] *Pietrzak, M., Brzostowski, A.* Radiat. Phys. Chem., vol. **17**, 1981, p. 269.

[18] *Nikolski, V. G.* Soviet. Sci. Rev., vol. **7**, 1972, p. 77.

[19] *Pender, L. F., Fleming, R. Y., J. Phys. C.*, vol. **10**, 1977, p. 1571.

[20] *Padhye, M. R., Tamhane, S. P.* Angew. Makrom. Chem., vol. **67**, 1978, p. 79.

[21] *Mihalcea, I., Jipa, S.* Radiochem. Radioanal. Letters, vol. **43**, 1980, p. 19.

[22] *Penkala, W., Pietrzak, M., Szalinska, H.* Modification of polyester resin with metal oxides ans epoxy resin, Report IARC, Lodz, November 1985, p. 4.

[23] *Partridge, R. H.* The Radiation Chemistry of Macromolecules, Ed. M. Dole., Academic Press, Hew York, vol. **1**, 1972.

[24] *Grossweiner, L. I.* J. Appl. Phys., vol. **24**, 1953, p. 1306.

[25] *Luschik, Ch. B.* Dokl. Akad. Nauk. SSSR, vol. **101**, 1955, p. 641.

[26] *Kelly, P. J., Laubitz, M. J.* Canad. J. Phys., vol. **45**, 1967, p. 311.

[27] *Takahashi, S., Tsumura, M., Hama, Y., Shinohara, K.* Repts. Prog. Polym. Phys. Japan, vol. **19**, p. 395.

[28] *Tsumura, M., Takahashi, S., Onu, N., Hama, Y.* Radiat. Phys. Chem., vol. **16**, 1980, p. 67.

[29] *Wyszywacz, K.* Teză de doctorat, Universitatea Tehnică, Lodz, Polonia, 1976.

[30] *Pohl, G., Kastner, S. Kolloid Z.*, vol. **206**, 1965, p. 147.

[31] *Pohl, G., Kastner, S. J. Polymer* Sci.,vol. C **16**, 1968, p. 4133.

[32] *Tanaka, K.* Bull. Chem. Soc. Japan, vol. **33**, 1960, p. 1702.

[33] *Perepechko, I. I.* Acoustic methods of investigating polymers Mir Publishers, Moscow, 1975, p. 240.

[34] *Penkala, W., Pietrzak, M., Szalinska, H.* Radiothermoluminescence of polyester resin modified with acrylic acid and its salts., Report IARC, Lodz, June, 1976, p. 16.

[35] *Perepechko, I. I., Akvacheva, L.* Visokomol. Soedin, vol. A **13**, 1971, p. 124.

[36] *Perepechko, I. I., Trepelkova, L. I., Badrova, A. A.* Visokomol. Soedin., vol. B**11**, 1965, p. 1.

[37] *Mihalcea, I., Păun, J., Jipa, S., Ilie, D.* Buletinul Instit. Politeh. Buc. Ser. Chim., vol. **16**/17, 1984/1985, p. 98.

CZ 621.3.044.5

Algoritme și programe pentru aproximări polinomiale cu aplicații în electrotehnică

Partea I-i: Aproximări prin polinoame de grad determinat în mod unic

PROFIR DEGERATU, DAN MIHAI, GHEORGHE MANOLEA* — CRAIOVA

Introducere

Există numeroase aplicații în care este necesară determinarea unor aproximante analitice pentru dependențe neliniare stabilite experimental. Aceste dependențe sînt disponibile sub forma unor grafice sau tabele care precizează un număr limitat de perechi de valori argument — — funcție (noduri).

Aproximarea analitică a unor dependențe experimentale constituie o preocupare mai veche, evidențiată în literatură prin următoarele soluții : găsirea unor funcții de aproximare globală de tip transcendent (funcții trigonometrice, exponențiale, hiperbolice) mai simple [2] sau mai complexe [7], determiarea unor polinoame aproximate [1] și obținerea de aproximante de tip spline [3].

În unele cazuri însă relația analitică redă doar alura dependenței și nu se adaptează ușor la diferite seturi de date [2]; sau, alegerea unei forme pentru aproximantă se face fără a avea un suport de decizie, prin încercări, pentru fiecare caz urmînd a se determina coeficienții care caracterizează forma propusă [7]. Sînt, de asemenea, disponibile algoritme și programe [4], [8] care realizează interpolări polinomiale după diferite criterii, dar sînt de tip punctual.

Lucrarea își propune să prezinte cîteva posibilități de aproximări polinomiale de grad fix (partea I) sau de gad variabil (partea a-II-a), expunînd algoritme și programe cu un grad ridicat de generalitate, precum și rezultate ale aplicării lor în modelarea unor sisteme neliniare din electrotehnică. Algoritmele urmăresc determinarea coeficienților polinomului aproximant, oferind deci o formă analitică pentru descrierea globală a dependenței date. Programele sînt modulare, procedurile propriu-zise de aproximare fiind concepute ca subrutine. După prezentarea aroximantelor prin polinoamele obținute din ecuațiile directe, polinoamele Lagrange, polinoamele obținute prin metoda celor mai mici pătrate, polinoamele-spline și polinoamele Cebîșev, se fac considerații comparative relativ la precizia rezultatelor și timpii de calcul de la fiecare variantă.

Programele au fost redactate în FORTRAN și rulate pe un calculator Felix — M 18 B.

* Prof. dr. ing. *Degeratu, P.*, asist. ing. *Mihai D.*, ș.l. dr. ing. *Manolea, Gh.* — Universitatea din Craiova.

1. Aproximarea prin polinoame determinate în mod unic

Gradul polinomului este fix și depinde de numărul de noduri ale dependenței experimentale sau este fixat de utilizator în cazul utilizării funcțiilor spline, care furnizează aproximante locale — pe porțiuni.

În primul caz, avînd dependența discretă $Y(X)$, cu $Y = \{y_i\}$; $X = \{x_i\}$; $i = \overline{1,N}$ (indicele egal desemnînd valori corespondente), se determină polinomul $p(x)$ de forma :

$$p(x) = a_1 . x^n + a_2 x^{n-1} + \ldots + a_n . x . + a_{n+1} \quad (1)$$

de grad $n = N - 1$

1.1 *Aproximarea prin polinomul determinat de ecuațiile directe*

• 1.1.1 *Metoda de calcul*

Singura condiție pe care trebuie să o îndeplinească aproximanta de forma (1) este aceea de a verifica condiția :

$$p(x_i) = y_i, \quad i = \overline{1,N}. \quad (2)$$

Din (1) și (2) se obțin ecuațiile directe (3) :

$$\begin{cases} a_1 \cdot x_1^n + a_2 \cdot x_1^{n-1} + \ldots + a_{n+1} = y_1 \\ a_1 \cdot x_2^n + a_2 \cdot x_2^{n-1} + \ldots + a_{n+1} = y_2 \\ \vdots \\ a_1 \cdot x_{n+1}^n + a_2 \cdot x_{n+1}^{n-1} + \ldots a_{n+1} = y_n, \end{cases} \quad (3)$$

din a căror rezolvare se obțin coeficienții polinomului (1). Deși în literatură această metodă nu este recomandată din considerente de timp de calcul în cazul în care N este relativ mare, dezavantajul major al utilizării ei nu este legat de timpul de calcul, ci de absența unor condiții suplimentare pentru polinom. Deși acesta trece prin nodurile dependenței date, nici o condiție nu limitează erorile în interiorul intervalelor.

Sub forma :

$$[A]_{N \times N} \cdot [X]_{N \times 1} = [Y]_{N \times 1}, \quad (4)$$

sistemul are asigurată soluția unică, determinantul $|A|$ fiind de tip Vendermonde.

1.2.1. *Algoritmul și programul de calcul (SYPOL)*

a. Se preiau datele X și Y sub forma a doi vectori de dimensiune N.

b. Se apelează subprogramul INPOL care generează matricea $[A]$ pe baza relației :

$$a_{ij} = (x_i)^{N-j};\ i,j = \overline{1,N}. \tag{5}$$

De asemenea, INPOL aranjează matricea $[A]$ într-un vector obținut prin succedarea coloanelor.

c. Se apelează, pentru rezolvarea sistemului de ecuații liniare (4), subprogramul DRESOL preluat din [7].

d. Se listează coeficienții polinomului determinat și eventual se calculează cu această aproximantă valori intermediare nodurilor.

Timpul de calcul, prin execuția programului în dublă precizie (pe un sistem de calcul foarte lent — M 18 B) nu este important ; de altfel, determinarea aproximantei se face off-line în modelarea și conducerea unor procese, așa încît timpul de calcul nu poate constitui un criteriu esențial. În schimb, rezultatele (tabelul 1, partea a II-a) nu îndreptățesc utilizarea acestei metode, mai ales cînd curba de aproximat este precizată printr-o colecție săracă de puncte. Erorile sînt maxime în zona intervalelor extreme.

1.2. Aproximarea prin polinoame Lagrange

1.2.1 Metoda de calcul

Se caută polinomul Lagrange de grad $n = N - 1$ de forma :

$$L_n(x) = \sum_{i=1}^{N} g_i(x) \cdot y_i \tag{6}$$

cu :

$$g_i(x) = \frac{(x-x_1)\cdot(x-x_2)\ldots(x-x_{i-1})\cdot(x-x_{i+1})\ldots(x-x_N)}{(x_i-x_1)\cdot(x_i-x_2)\ldots(x_i-x_{i-1})\cdot(x_i-x_{i+1})\ldots(x_i-x_N)}$$

Polinomul $Ln(x)$ se poate pune sub forma [1] :

$$L_n(x) = \sum_{l=1}^{N} P_l \cdot x^{N-l}, \tag{8}$$

unde :

$$P_1 = \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{\prod_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} (x_i - x_j)}, \tag{9}$$

$$P_l = (-1)^{l-1} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{A_{i,l-1}\cdot y_i}{\prod_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} (x_i - x_j)};\ l = \overline{2,N}, \tag{10}$$

cu :

$$A_{ij} = \sum_{\substack{k_1,k_2,\ldots,k_j=1\\ k_1\neq k_2\neq\ldots\neq k_j\neq i}}^{N-1} x_{k_1}\cdot x_{k_2}\ldots x_{k_j};\quad \begin{matrix} i = \overline{1,N} \\ j = 1, N-1. \end{matrix} \tag{11}$$

1.2.2. Algoritm și program de calcul

Pentru calculul coeficienților P_l, definiți cu relațiile (9) și (10) s-a construit subrutina LARG care funcționează după algoritmul de principiu de mai jos.

a. Pentru fiecare pereche de indici (i, j) formează secvența de indici $(k_1, k_2, \ldots, k_j)$, în condițiile menționate de relația (11).

b. Pentru secvențele de indici determinate la pasul a) calculează produsele $PR = k_1 \cdot k_2 \ldots k_j$ și efectuează suma acestor produse, obținînd coeficienții $Ai,\ j$ — rel. (11) pe care îi reține într-o matrice $[A]_{N\times(N-1)}$.

c. Calculează produsele $SP_i = \prod_{\substack{j=1\\ i\neq j}}^{N} (x_i - x_j)$.

d. Calculează coeficientul P_1 al lui x^n cu relația (9).

e. Calculează coeficienții P_l, $l = \overline{2,N}$ după relațiile (10).

Pentru a oferi un instrument de lucru se listează în anexa 1 instrucțiunile subprogramului LAGR. Semnificația variabilelor din linia de definiție este :

X, Y — vectori care conțin datele $\{x_i\}$, $\{y_i\}$; $i = \overline{1,N}$

Șirul X trebuie să fie ordonat și să aibă elementele distincte ;

N — numărul de puncte prin care se specifică dependența dată ;

K, P, SP — tablouri de lucru de dimensiune N ;

A — tablou de dimensiune $N \times N$ ale cărui prime $N - 1$ coloane conțin coeficienții A_{ij} calculați.

Figura 1 prezintă rezultatele unui program de interpolare Lagrange pentru o curbă de magnetizare normată, precizată prin șase puncte.

Figura 2 redă imaginea dependenței respective, fiind marcate nodurile specificate și o serie de puncte intermediare obținute cu ajutorul polinomului $L_5(x)$.

La creșterea lui N, erorile pe intervalele extreme cresc. Pentru diminuarea lor se poate proceda la o extrapolare forțată la extreme așa încît porțiunea efectiv utilizată să se înscrie prin aproximanta $L_n(x)$ cît mai fidel în tendința seriei de puncte furnizate inițial. De asemenea, erorile scad dacă se lucrează în dublă precizie ; în schimb timpul de calcul crește de aproape patru ori. Caracterizarea metodei din punct de vedere al erorilor și al timpului de calcul este sintetizată în tabelul 1, partea a II-a. În concluzie, se recomandă procedura

Anexa 1

```
      SUBROUTINE LAGR(X,Y,K,N,A,P,SP)
        IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      DIMENSION X(N),Y(N),K(N),A(N,N),P(N),SP(N)
      M=N-1
      DO 1 I=1,N
      DO 2 J=1,N
2     A(I,J)=0.
1     CONTINUE
      J=1
14    I=1
9     IT=1
      KV=1
      PR=1.
      L=1
3     K(L)=L
      L=L+1
      IF(L.LE.J) GO TO 3
7     PR=1.
      L=1
5     IF(I.EQ.K(L)) GO TO 4
      L=L+1
      IF(L.LE.J) GO TO 5
      L=1
6     KL=K(L)
      PR=PR*X(KL)
      L=L+1
      IF(L.LE.J) GO TO 6
      A(I,J)=A(I,J)+PR
4     K(J)=K(J)+1
      IF(K(J).LE.N) GO TO 7
      IF(J.NE.1) GO TO 8
      I=I+1
      IF(I.LE.N) GO TO 9
      GO TO 10
8     KT=1
13    JK=J-KT
      K(JK)=K(JK)+1
      IT=1
12    JA=J-KT+IT
      K(JA)=K(JA-1)+1
      IF(IT.GE.KT) GO TO 11
      IT=IT+1
      GO TO 12
11    IF(K(J).LE.N) GO TO 7
      KT=KT+1
      IF(KT.LE.(J-1)) GO TO 13
      I=I+1
      IF(I.LE.N) GO TO 9
10    J=J+1
      IF(J.LE.M) GO TO 14
      DO 17 I2=1,N
17    SP(I2)=1.
      S=0.
      DO 18 IN=1,N
18    P(IN)=0.
      I1=1
22    J1=1
21    IF(I1.EQ.J1) GO TO 20
      SP(I1)=(X(I1)-X(J1))*SP(I1)
20    J1=J1+1
      IF(J1.LE.N) GO TO 21
      S=S+Y(I1)/SP(I1)
      I1=I1+1
      IF(I1.LE.N) GO TO 22
      P(1)=S
      L1=1
      M1=1
23    M1=1
40    Z=1
      P(L1+1)=P(L1+1)+A(M1,L1)*Y(M1)/SP(M1)
      M1=M1+1
      IF(M1.LE.N) GO TO 40
      P(L1+1)=P(L1+1)*(-1)**L1
      L1=L1+1
      IF(L1.LE.M) GO TO 23
      RETURN
      END
```

LARG pentru serii de date cu $N \leqslant 12$, normalizate, eventual filtrate (pentru eliminarea punctelor afectate de erori grosolane) și extrapolate în zona intervalelor extreme. La execuția pe calculatoare mai rapide, N poate fi extins într-o anumită măsură.

1.3. Aproximarea prin polinoame spline

Pentru dependența $(X - Y)$ determinată experimental se caută aproximante pe porțiuni sub forma funcțiilor polinomiale spline cubice cu deficiență 1 și o aproximare globală utilizînd aproximantele zonale.

1.3.1. Metoda de calcul

Aproximantele $p_i(x)$, pe intervalele $i = \overline{1, N-1}$, satisfac condițiile:

$$p_i(x_i) = y_i\,;\ p_{i+1}(x_i) = y_{i+1},$$
$$p_i(x_{i+1}) = p_{i+1}(x_{i+1}) \quad ;\quad i = \overline{1,\ N-1},$$
$$p_i''(x_{i+1}) = p_{i+1}''(x_{i+1}). \qquad (12)$$

```
      DEPENDENTA DATA...
X(  1)=      0.0000000 Y(  1)=      0.0000000
X(  2)=      .7000000 Y(  2)=      .7800000
X(  3)=      1.0000000 Y(  3)=      1.0000000
X(  4)=      1.3000000 Y(  4)=      1.1000000
X(  5)=      1.6000000 Y(  5)=      1.1500000
X(  6)=      2.0000000 Y(  6)=      1.1900000

COEFICIENTII POLINOMULUI DE  INTERPOLARE
 A 1=-.29969645D+00
 A 2= .17860280D+01
 A 3=-.37527129D+01
 A 4= .28463893D+01
 A 5= .41999203D+00
 A 6= .00000000D+01

VALORILE DATE RECALCULATE   CU COEF.LAGR.
      0.0000000 PENTRU :        0.0000000
       .7800000 PENTRU :         .7800000
      1.0000000 PENTRU :        1.0000000
      1.1000000 PENTRU :        1.1000000
      1.1500000 PENTRU :        1.1500000
      1.1900000 PENTRU :        1.1900000

CURBA INTERPOLATA CU VALORI  INTERMEDIARE
   ARGUMENTE DATE              VALORI CALCULATE
      0.0000000                   0.0000000
       .0875000                    .0561311
       .1750000                    .1421830
       .2625000                    .2466099
       .3500000                    .3600099
       .4375000                    .4749401
       .5250000                    .5857326
       .6125000                    .6863098
       .7000000                    .7800000
       .7000000                    .7800000
       .7375000                    .8155649
       .7750000                    .8487979
```

Fig. 1. Rezultatele programului pentru obținerea aproximantei polinomiale L_5 pentru o curbă de magnetizare.

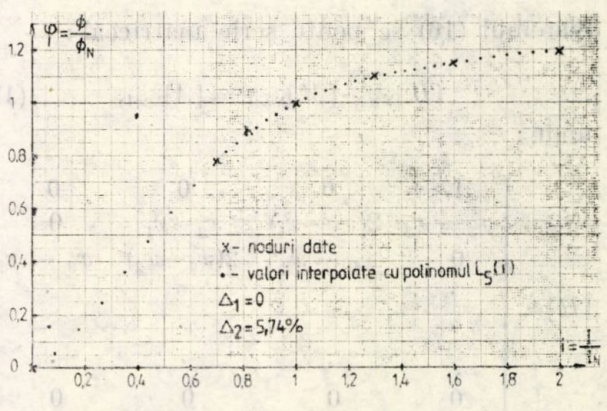


Fig. 2. Curba de magnetizare interpolată cu aproximanta L_5.

Polinoamele Hermite $p_i(x)$ se reprezintă unic prin relaţia [6]:

$$p_i(x) = y_i + m_i \cdot (x - x_i) + \left(3\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i^2} - \frac{m_{i+1} + 2 \cdot m_i}{h_i} \right) \cdot (x - x_i)^2 + \left(-2 \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i^3} + \frac{m_{i+1} + m_i}{h_i^2} \right) \cdot (x - x_i)^3;$$

$$i = \overline{1,\ N-1}. \tag{13}$$

Cu $h_i = x_{i+1} - x_i > 0$ şi coeficienţii m_i determinaţi de sistemul de ecuaţii liniare:

$$h_{i+1} \cdot m_i + 2 \cdot (h_i + h_{i+1}) \cdot m_{i+1} + h_i \cdot m_{i+2} = 3 \cdot \left(h_i \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+1}} + h_{i+1} \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \right), \tag{14}$$

$$i = \overline{1,\ N-2}.$$

Cu relaţiile adiţionale [3]:

$$\begin{cases} m_1 = y_1' = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ m_n = y_n' = \dfrac{y_N - y_{N-1}}{x_N - y_{N-1}}, \end{cases} \tag{15}$$

se obţine următorul sistem de ecuaţii liniare pentru determinarea pantelor m_i:

$$\begin{cases} m_1 = y_1' = A_1 \\ h_2 m_1 + 2(h_1 + h_2) \cdot m_2 + h_1 \cdot m_3 = A_2 \\ h_3 m_2 + 2(h_2 + h_3) \cdot m_3 + h_2 \cdot m_4 = A_3 \\ \vdots \\ h_{N-1} \cdot m_{N-2} + 2(h_{N-1} + h_{N-1}) \cdot m_{N-1} + h_{N-2} \cdot m_N = A_{N-1} \\ m_N = y_N' = A_N. \end{cases} \tag{16}$$

Sistemul (16) se poate scrie matriceal:

$$[H]_{N \times N} \cdot [M]_{N \times 1} = [A]_{N \times 1}, \tag{17}$$

unde:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_N \end{bmatrix}; \quad [A] = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_N \end{bmatrix}.$$

Ordonînd polinomul $p_i(x)$ din relaţia (13) după puterile descrescătoare ale lui x, se obţine forma:

$$p_i(x) = q \cdot x^3 + (p - 3x_i \cdot q) \cdot x^2 + (m_i - 2 \cdot x_i \cdot p + 3 \cdot q \cdot x_i^2) \cdot x + y_i - m_i \cdot x_i + p \cdot x_i^2 - q \cdot x_i^3 \tag{19}$$

Cu:

$$p = 3 \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i^2} - \frac{m_{i+1} + 2m_i}{h_i},$$

$$q = -2 \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i^3} - \frac{m_{i+1} + m_i}{h_i^2} \tag{20}$$

Avînd disponibile aproximantele zonale $p_i(x)$; $i = \overline{1,\ N-1}$, se propune o aproximare globală a dependenţei date prin forma:

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} \{1 - \operatorname{sgn}[(x_i - x) \cdot (x_{i+1} - x)]\} \cdot p_i(x);\ x_1 < x < x_N, \tag{21}$$

sau:

$$f(x) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{N-1} [1 - \operatorname{sgn}(x - x_{i+1} + \varepsilon)] \cdot [1 + \operatorname{sgn}(x - x_i + \varepsilon)] \cdot p_i(x). \tag{22}$$

Cu:

$$\varepsilon \ll \min\,(x_{i+1} - x_i), \quad \varepsilon < \min\,(|x - x_i|,\ |x - x_{i+1}|); \quad i = \overline{1,N-1}. \tag{23}$$

Dacă x_1 şi x_N nu sînt nuli se propune aproximarea dependenţei globale prin relaţia:

$$f(x) = \frac{1}{2} \cdot \left[3 - \operatorname{sgn}\left(\left| 1 - \frac{x}{x_1} \right| \right) - \operatorname{sgn}\left(\left| 1 - \frac{x}{x_N} \right| \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \{1 - \operatorname{sgn}[(x_i - x) \cdot (x_{i+1} - x)]\} \cdot p_i(x). \tag{24}$$

$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ x_2 - x_3 & 2(x_3 - x_1) & x_2 - x_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_4 - x_3 & 2(x_4 - x_2) & x_3 - x_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & x_N - x_{N-1} & 2(x_N - x_{N-2}) & x_{N-1} - x_{N-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{18}$$

Formulele (21), (22) și (24) sînt de tipul :

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N-i} \beta_i \cdot p_i(x), \qquad (25)$$

unde :

$$\beta_i = \begin{cases} 0 \text{ pentru } x < x_i \\ 1 \text{ pentru } x_i < x < x_{i+1} \\ 0 \text{ pentru } x > x_{i+1}. \end{cases} \qquad (26)$$

Întrucît o aproximantă polinomială a unei dependențe discrete oferă avantajul esențial al unor derivări sau integrări comode, se pune problema calculului funcțiilor $\frac{df(x)}{dx}$, $\int f(x)dx$.

Deoarece polinoamele cubice spline satisfac condițiile de racordare prin derivabilitate [6], $f(x)$ este derivabilă cu toate că în construcția ponderilor β_i intervin funcții nederivabile signum și :

$$\frac{df(x)}{dx} = \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \cdot \frac{dp_i(x)}{dx}. \qquad (27)$$

Rolul coeficienților β_i, aceiași cu cei din relația (26), este acum de a selecta derivatele aproximantelor locale.

La fel :

$$\int_{x_1}^{x_N} f(x)\,dx = \sum_{i=1}^{N-1} \int_{x_i}^{x_{i+1}} p_i(x) \cdot dx = \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \cdot \int_{x_i}^{x_{i+1}} p_i(x) \cdot dx. \qquad (28)$$

1.3.2. *Algoritmul și programul de calcul (TSPLY)*

a. Se preiau de către program datele sub forma vectorilor X și Y de dimensiunile N.

b. Este apelat subprogramul COEFSP care formează tablourile $[H]$ și $[A]$, pentru determinarea elementelor h_{ij} utilizîndu-se relațiile :

$$\begin{cases} h_{11} = n_{NN} = 1 \\ h_{ij} = 0\,;\ h_{Nj} = 0 \text{ pentru } 1 < j < N \\ h_{jj} = 2(x_{j+1} - x_{j-1}) \text{ pentru } 1 < j < N \\ h_{ij} = x_{i+1} - x_i \text{ pentru } j < i \text{ și } 1 < i < N \\ h_{ij} = x_i - x_{i-1} \text{ pentru } j > i \text{ și } 1 < i < N. \end{cases} \qquad (29)$$

Tot COEFSP prelucrează matricea $[A]$ aranjîndu-i coloanele una după alta, avînd în vedere specificul subprogramului de rezolvare a sistemului de ecuații (17).

c. Este apelat subprogramul DRESOL, preluat din [8], rezultînd vectorul pantelor VM, adică coeficienții m_i din relația (14).

d. Este apelat subprogramul SPLINE, care determină coeficienții CA_0, CA_1, CA_2 și CA_3 din forma :

$$p_i(x) = CA_0 \cdot x^3 + CA_1 \cdot x^2 + CA_2 \cdot x + CA_3, \qquad (30)$$

echivalentă cu (19).

e. Se repetă calculele de la pasul *d*, pînă la epuizarea intervalelor.

Programul principal listează polinoamele $p_i(x)$; $i = \overline{1, N-1}$ și eventual calculează valori intermediare nodurilor date precizînd numărul acestora (subdivizare automată) sau precizînd argumente intermediare. De asemenea, avertizează dacă sistemul (17) este singular.

Instrucțiunile pentru subprogramul COEFSP, esențial pentru exploatarea algoritmului prezentat, sînt redate în anexa 2.

Anexa 2

```
      SUBROUTINE COEFSP(X,Y,N,NV,H,HV,AL)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION X(N),Y(N),H(N,N),AL(N),HV(NV)
      H(1,1)=1.
      H(N,N)=1.
      I=1
      DO 2 J=2,N
    2 H(I,J)=0.
      I=N
      NJ=N-1
      DO 3 J=1,NJ
    3 H(I,J)=0.
      I=2
    9 J=1
    8 IF(I.NE.J) GO TO 4
      H(I,J)=2*(X(I+1)-X(I-1))
      GO TO 7
    4 IF(J.LE.(I-2)) GO TO 5
      IF(J.GE.(I+2)) GO TO 5
      IF(J.LT.I) GO TO 6
      H(I,J)=X(I)-X(I-1)
      GO TO 7
    6 H(I,J)=X(I+1)-X(I)
      GO TO 7
    5 H(I,J)=0.
    7 J=J+1
      IF(J.LE.N) GO TO 8
      I=I+1
      IF(I.LE.(N-1)) GO TO 9
      K=1
      DO 11 J=1,N
      DO 12 I=1,N
      HV(K)=H(I,J)
   12 K=K+1
   11 CONTINUE
      AL(1)=(Y(2)-Y(1))/(X(2)-X(1))
      AL(N)=(Y(N)-Y(N-1))/(X(N)-X(N-1))
      N1=N-1
      DO 10 I=2,N1
      H1=X(I)-X(I-1)
      H2=X(I+1)-X(I)
   10 AL(I)=3*(H1*(Y(I+1)-Y(I))/H2+H2*(Y(I)-
      Y(I-1))/H1)
      RETURN
      END
```

Semnificația parametrilor din linia de definiție :

X, Y — vectori care conțin datele x_i, y_i ; $i = \overline{1, N}$.

Șirul X trebuie să fie ordonat și să aibă elementele distincte ;

N — numărul de puncte prin care se specifică dependența dată ;

NV — dimensiunea vectorului HV ;

H — tablou $N \times N$ desemnînd matricea $[H]$ din relația (17) ;

HV — vector de dimensiune $NV = N^2$ obținut prin concatenarea coloanelor tabloului H;

AL — vector N — dimensional desemnînd pe $[A]$ din relația (17).

Se expune ca exemplu de aplicare determinarea aproximantelor spline pentru caracteristica mecanică naturală $M = f(s)$ a motorului asincron AFI 180 S 42. Avantajul utilizării unor reprezentări analitice de tip polinomial, în locul cunoscutei formule Kloss, este evident prin comoditatea cu care se verifică condiția de funcționare stabilă în regim staționar, posibilitatea realizării unor algoritme numerice pentru rezolvarea regimurilor dinamice, folosind principiul cunoscutelor metode grafice (metoda suprafețelor, de exemplu) etc.

Rezultatele programului sînt prezentate în figura 3.

```
KOD=  0

        DEPENDENTA DATA :

X(  1)= 0.000000 Y(  1)= 0.000000
X(  2)=  .120000 Y(  2)=  .818174
X(  3)=  .240000 Y(  3)=  .999270
X(  4)=  .360000 Y(  4)=  .909045
X(  5)=  .480000 Y(  5)=  .781502
X(  6)=  .600000 Y(  6)=  .670599
X(  7)=  .720000 Y(  7)=  .581781
X(  8)=  .840000 Y(  8)=  .511330
X(  9)=  .960000 Y(  9)=  .454910
X( 10)= 1.080000 Y( 10)=  .409063

POLINOAMELE SPLINE DE   INTERPOLARE

P 1(X)=-.1324D+03.X3+ .1828D+02.X2+ .6818D+01.X1+ .0000D+01

P 2(X)= .8840D+02.X3+-.6839D+02.X2+ .1722D+02.X1+ .4160D+00

P 3(X)= .1042D+02.X3+-.1225D+02.X2+ .3745D+01.X1+ .6619D+00

P 4(X)= .5319D+01.X3+-.6734D+01.X2+ .1760D+01.X1+ .9001D+00

P 5(X)=-.4749D+00.X3+ .1609D+01.X2+-.2245D+01.X1+ .1341D+01

P 6(X)=-.2682D+00.X3+ .1237D+01.X2+-.2022D+01.X1+ .1496D+01

P 7(X)=-.6041D+00.X3+ .1963D+01.X2+-.2544D+01.X1+ .1622D+01

P 8(X)= .1752D+00.X3+-.1122D-02.X2+-.8946D+00.X1+ .1160D+0

P 9(X)=-.2093D+01.X3+ .6546D+01.X2+-.7179D+01.X1+ .3171D+01

INT. SPLINE CU   10 PCT.DATE
X= 0.000000  Y= 0.000000
X=  .020000  Y=  .142457
X=  .040000  Y=  .292227
X=  .060000  Y=  .441997
X=  .080000  Y=  .584453
X=  .100000  Y=  .712284
X=  .120000  Y=  .818174
X=  .140000  Y=  .896737
X=  .160000  Y=  .950291
X=  .180000  Y=  .983078
X=  .200000  Y=  .999341
X=  .220000  Y= 1.003324
X=  .240000  Y=  .999270
X=  .260000  Y=  .990798
```

Fig. 3. Aproximantele cubice spline pentru caracteristica mecanică a unui motor asincron.

S-a utilizat pentru furnizarea punctelor intermediare formula Kloss simplificată $\mu = \mu(s)$ cu $\mu = M/M_k$.

Figurile 4 și 5 prezintă caracteristica determinată cu formula amintită (căreia îi corespund nodurile precizate pentru interpolare) și caracteristica obținută cu ajutorul aproximantelor SPLINE cuprinse într-o formă globală de tip (22).

Forma (22) pentru aproximanta globală spline a fost special concepută pentru lucrul pe calculator în limbajul FORTRAN, la care funcția signum nu ia decît valorile -1, pentru argumente negative și, respectiv, $+1$ pentru argumente nule sau pozitive. Figurile 4 și 5 sugerează o bună aproximare pentru caracteristica considerată, erorile fiind estimate cantitativ prin următorii indici sintetici :

$$\Delta_1 = \frac{\sum_{i=1}^{NP} (y_{ei} - y_{ci})^2}{NP} = 1{,}552 \cdot 10^{-4},$$

$$\Delta_2 = \frac{|\Delta y_{max}|}{\bar{y}} \cdot 100 = 7{,}28\ \%, \tag{31}$$

unde :

y_{ei} sînt valorile exacte ale dependenței date pentru argument x_i (calculate cu relația lui Kloss);

y_{ci} — valorile aproximantei spline pentru aceleași argumente x_i, argumente intermediare nodurilor (unde $y_{ei} = y_{ci}$);

NP — numărul punctelor intermediare considerate;

Δy_{max} — cea mai mare diferență $(y_{ei} - y_{ci})$;

$\bar{y}$ — media valorilor dependenței precizată prin cele N noduri ($N = 10$ în exemplul considerat).

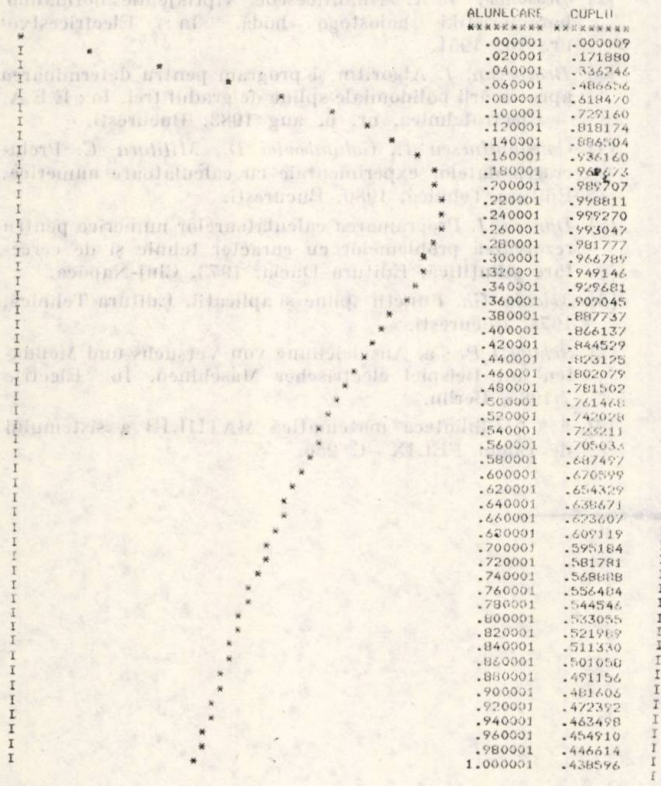
Și la aproximarea prin funcții spline, erorile sînt maxime pe intervalele extreme, relațiile de tipul (15) neasigurînd o racordare exactă a derivatelor pentru aceste intervale.

Trebuie menționat faptul că aproximarea nu se îmbunătățește sensibil, printr-o separare a dependenței date, în zone cu alură cît mai apropiată de cea cubică, mai mult, dacă zonele respective corespund unor game de variație ale argumentelor mult diferite, erorile cresc.

Condițiile de racordare, referindu-se la derivatele laterale în noduri, o „zonare" echilibrată a dependenței de interpolat cumulată cu prelevarea unui număr suficient de mare de puncte, conduc la rezultate sensibil mai bune.

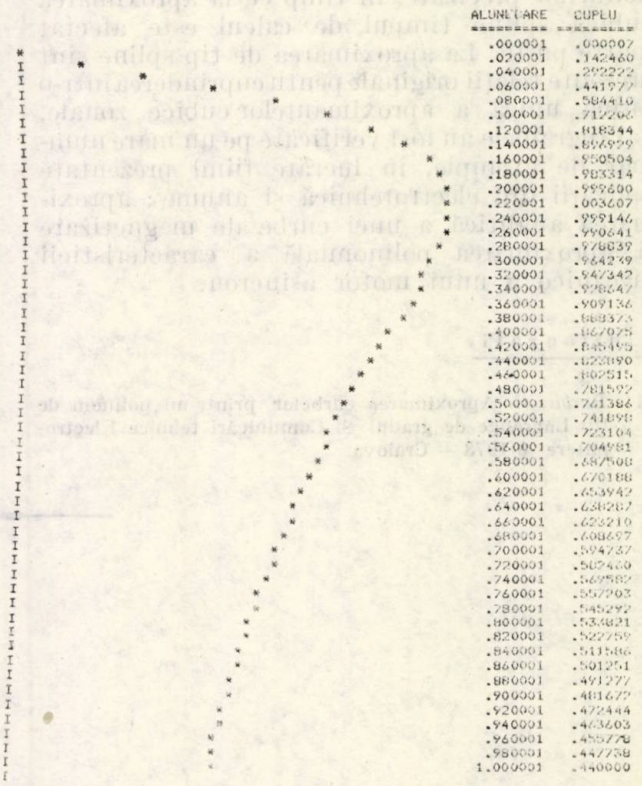
Așa cum sugerează figura 6, concavitatea aproximantelor spline pe intervale alternează.

În cazul în care, între nodurile dependenței care se interpolează există puncte cu valori mult în afara tendinței seriei, acestea sînt în mod automat ignorate de aproximanta spline respectivă care se obține prin condiții de racordare cu formele corespunzătoare intervalelor vecine, deci printr-o extrapolare pe intervalul respectiv, a tendinței. Uneori acest fenomen este avantajos, realizîndu-se de la sine o filtrare a seriei. Evident, fiind foarte importantă operația de precizare a nodurilor, care vor determina aproximanta spline, este indicat ca furnizarea datelor pentru program să fie făcută de un cunoscător al fenomenului descris de dependența $y_i(x_i)$ în cauză.



ALUNECARE	CUPLU
.000001	.000009
.020001	.171880
.040001	.336246
.060001	.486656
.080001	.618470
.100001	.729160
.120001	.818174
.140001	.886504
.160001	.936160
.180001	.968674
.200001	.985707
.220001	.996811
.240001	.999270
.260001	.993047
.280001	.981777
.300001	.966789
.320001	.949146
.340001	.929681
.360001	.909045
.380001	.887737
.400001	.866137
.420001	.844529
.440001	.823125
.460001	.802079
.480001	.781502
.500001	.761468
.520001	.742028
.540001	.723211
.560001	.705033
.580001	.687497
.600001	.670599
.620001	.654329
.640001	.638671
.660001	.623607
.680001	.609119
.700001	.595184
.720001	.581781
.740001	.568888
.760001	.556484
.780001	.544546
.800001	.533055
.820001	.521969
.840001	.511330
.860001	.501050
.880001	.491156
.900001	.481606
.920001	.472392
.940001	.463498
.960001	.454910
.980001	.446614
1.000001	.438596

Fig. 4. Caracteristica mecanică a motorului asincron (obținută cu relația Kloss).



ALUNECARE	CUPLU
.000001	.000007
.020001	.142460
.040001	.292272
.060001	.441977
.080001	.584410
.100001	.712266
.120001	.818344
.140001	.896959
.160001	.950504
.180001	.983314
.200001	.999600
.220001	.003607
.240001	.999146
.260001	.990641
.280001	.976839
.300001	.964239
.320001	.947342
.340001	.928647
.360001	.909136
.380001	.888373
.400001	.867075
.420001	.845495
.440001	.823890
.460001	.802515
.480001	.781592
.500001	.761386
.520001	.741898
.540001	.723104
.560001	.704981
.580001	.687508
.600001	.670188
.620001	.653942
.640001	.638267
.660001	.623210
.680001	.608657
.700001	.594737
.720001	.581469
.740001	.568582
.760001	.556703
.780001	.545292
.800001	.534821
.820001	.522759
.840001	.513586
.860001	.501251
.880001	.491277
.900001	.481677
.920001	.472444
.940001	.463603
.960001	.455278
.980001	.447738
1.000001	.440000

Fig. 5. Caracteristica mecanică a motorului asincron obținută printr-o aproximantă globală spline.

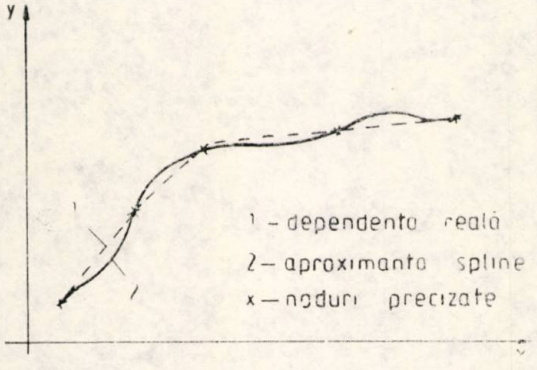


Fig. 6. Forma aproximantei spline (2) a dependenței date (1), prin punctele (X).

Compararea cu alte metode de aproximare din punct de vedere al timpului de calcul și al preciziei este sintetizată în tabelul 1, partea a II-a. Este remarcabilă viteza mare de execuție a programului, practic foarte puțin afectată de creșterea numărului de puncte N.

În ultimul timp aproximarea cu polinoame spline a căpătat o răspîndire destul de mare, opțiunea pentru această metodă nefiind totdeauna justificată. Rezultate foarte bune se obțin în cazul precizării unui număr redus de puncte (4—6), dacă dependența respectivă sugerează o funcție unimodală pe domeniul de definiție.

2. Concluzii

Lucrarea și-a propus prezentarea unor algoritme și programe pentru determinarea unor aproximante polinomiale pentru o dependență neliniară dată. Spre deosebire de soluțiile prezentate în literatură, programele nu realizează interpolări punctuale, ci determină coeficienții polinomului aproximat. În această primă parte sînt analizate trei metode : aproximarea prin polinomul obținut prin rezolvarea ecuațiilor directe, prin polinoame Lagrange și prin polinoame spline. Practic, utilizabile sînt ultimele două metode, iar pentru exploatarea algoritmelor respective se pun la dispoziție zonele cu instrucțiuni semnificative din program, specificînd parametrii care intervin.

Erorile maxime se obțin pe intervalele extreme și, ca atare, se recomandă prelungirea artificială a dependenței inițiale. De asemenea, sînt utile filtrarea seriei de date pentru eliminarea erorilor grosolane și raportarea (eventual logaritmarea) datelor pentru ca domeniile argument-funcție să cuprindă cît mai puține ordine de mărime.

Polinoamele obținute prin metodele expuse verifică exact nodurile furnizate, erorile în punctele intermediare fiind cu atît mai mici cu cît numărul de puncte date este mai mare. La aproximarea Langrange timpul de calcul crește foarte repede cu creșterea numărului

nodurilor precizate, în timp ce la aproximarea cubică spline timpul de calcul este afectat foarte puțin. La aproximarea de tip spline sînt prezente relații originale pentu cuprinderea într-o formă unică a aproximantelor cubice zonale.

Programele au fost verificate pe un mare număr de exemple, în lucrare fiind prezentate aplicații din electrotehnică și anume : aproximarea analitică a unei curbe de magnetizare și aproximarea polinomială a caracteristicii mecanice a unui motor asincron.

Bibliografie

[1] *Barbu, E.* Aproximarea curbelor printr-un polinom de tip Lagrange de gradul 9. Comunicări tehnice Electroputere 8/1978 — Craiova.

[2] *Bessonov, L. A.* Analiticescoe vipriajenîie normalino i haracteristiki holostogo hoda. In : Electricestvo' nr. 10, 1951.

[3] *Brașovean, I.* Algoritm și program pentru determinarea aproximării polinomiale spline de gradul trei. In : E.E.A. — Electrotehnica, nr. 6, aug 1983, București.

[4] *Constantinescu I., Golumbovici D., Militaru C.* Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Editura Tehnică, 1980, București.

[5] *Dancea, I.* Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și de cercetare științifică. Editura Dacia, 1973, Cluj-Napoca.

[6] *Micula, Gh.* Funcții spline și aplicații. Editura Tehnică, 1978, București.

[7] *Schubert P.* ș.a. Ausgleichung von Versuchs und Meßdaten am Beispiel electrischer Maschinen. În : Electrie 7/1985, Berlin.

[8] * * * Biblioteca matematică MATHLIB a sistemului de calcul FELIX—C 256.

CZ 621.3.044.5

Algoritme şi programe pentru aproximări polinomiale cu aplicaţii în electrotehnică.

Partea a II-a: Aproximări prin polinoame de grad variabil

DAN MIHAI, ALEXANDRU BITOLEANU, IONEL DUMBRAVĂ* — CRAIOVA

Introducere

În partea I-i s-au prezentat cîteva posibilităţi de aproximare a unei dependenţe $(X-Y)_N$ prin polinoame cu grad fixat.

În cele ce urmează se vor expune algoritme şi programe pentru obţinerea unor polinoame aproximante de grad variabil, modificarea gradului urmărind diminuarea erorii de aproximare. Spre deosebire de soluţiile prezente în literatură [1], [2], [4], [7], care vizează interpolări punctuale, proceduri elaborate în lucrare permit obţinerea coeficienţilor polinomului aproximant ordonat după puterile variabilei, fapt ce permite ulterioare prelucrări analitice comode.

Lucrarea prezintă algoritme şi programe pentru calculul aproximantelor polinomiale bazate pe metoda celor mai mici pătrate (polinoamele obţinute prin rezolvarea ecuaţiilor normale şi polinoame de tip Cebîşev).

Fără să satisfacă condiţia de verificare a nodurilor furnizate (o caracteristică a aproximantelor polinomiale de grad fix), acest tip de aproximare prezintă avantajul eliminării într-o oarecare măsură a erorilor de determinare ce afectează seria de date.

Programele au fost verificate pe o serie de aplicaţii de test, în final fiind centralizate datele privind precizia de calcul şi timpul de execuţie pentru toate variantele.

Se prezintă, de asemenea, rezultate ale utilizării algoritmelor elaborate în studiul unor sisteme nealiniare din electrotehnică.

Programele au fost redactate în FORTRAN şi rulate pe un calculator tip Felix M18B. Pentru a veni în sprijinul celor interesaţi, în lucrare sînt inserate zonele cu instrucţiuni esenţiale pentru exploatarea programelor.

1. Aproximări prin polinoame obţinute prin rezolvarea ecuaţiilor normale

Avînd o colecţie de date simplă (monodimensională), de tipul $X = \{x_i\}$, $Y = \{y_i\}$; $i = \overline{1,N}$ (indicele egal desemnînd valori corespondente) se va determina un polinom $p(x)$ care să exprime analitic cît mai exact dependenţa dată.

Gradul polinomului este m, $m \in [0, N-2]$, iar coeficienţii săi se determină din condiţia ca suma pătratelor diferenţelor între y_i şi $p(x_i)$ să fie minimă.

Ecuaţiile care rezultă din formularea condiţiei de minim a pătratelor abaterilor se numesc ecuaţiile normale.

1.1 *Metoda de calcul*

Se vor calcula coeficienţii polinomului;

$$p_m(x) = a_m \cdot x^m + a_{m-1} \cdot x^{m-1} + \ldots + a_1 \cdot x + a_0, \tag{1}$$

cu $m < N$ şi astfel încît:

$$R_2 = \sum_{i=1}^{N} (p_m(x_i) - y_i)^2 = \min. \tag{2}$$

Cu cît m este mai mic faţă de N, eroarea R_2 este mai mare. Pe de altă parte, cu cît gradul polinomului de aproximare este mai mare, cu atît determinarea coeficienţilor a_i; $i = \overline{0,m}$ devine mai dificilă, în sensul timpului de calcul şi al apropierii de posibilitatea singularităţilor.

Coeficienţii a_i se determină din ecuaţia matriceală [2]:

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma x_i & \Sigma x_i^2 & \ldots & \Sigma x_i^m \\ \Sigma x_i & \Sigma x_i^2 & \Sigma x_i^3 & \ldots & \Sigma x_i^{m+1} \\ \vdots & & & & \\ \Sigma x_i^m & \Sigma x_i^{m+1} & \Sigma x_i^{m+2} & \ldots & \Sigma x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma y_i \\ \Sigma x_i y_i \\ \vdots \\ \Sigma x_i^m y_i \end{bmatrix} \tag{3}$$

sau, într-o scriere compactă:

$$[XM]_{(m+1)\times(m+1)} \cdot [A]_{(m+1)\times 1} = [XY]_{(m+1)\times 1}. \tag{4}$$

Elementele matricei $[XM]$ se vor calcula cu relaţia:

$$x_m(i,j) = \sum_{k=1}^{N} x_k^{i+j-1}; \quad i,j = \overline{1,m+1}, \tag{5}$$

* Asist. ing. *Mihai Dan*, şef lucr. ing. *Bitoleanu Alex.* — Universitatea din Craiova; ing. *Dumbravă Ionel* — CCSIT — Electroputere — Craiova.

iar elementele vectorului $[XY]$ cu:

$$xy(k) = \sum_{i=1}^{N} x_i^{k-1} \cdot y_i \; ; \; k = \overline{1, m+1}. \qquad (6)$$

Gradul optim al polinomului de apoximare se va determina cu ajutorul unui estimator al abaterilor, de tipul criteriului de concordanță Gauss [1]:

$$\Delta = \frac{R_2}{N-(m+1)} = \frac{\sum_{k=1}^{N} (y_k - p_m(x_k))^2}{N-(m+1)}. \qquad (7)$$

Forma (7) a estimatorului abaterilor penalizează creșterea gradului polinomului aproximant, urmărind obținerea unor abateri mici cu un polinom cît mai simplu, deci ușor de manipulat și de determinat. Gradul optim al polinomului va corespunde, deci, unui minim pentru Δ.

1.2. *Algoritmul și programul de calcul (LYPOL)*

a. Se preiau datele sub forma vectorilor $XP = \{x_i\}$; $YP = \{y_i\}$; $i = \overline{1, NP}$. Se furnizează de asemenea, gradul cel mai mic al polinomului de interpolare — MGI, numărul de puncte NP ale colecției de date și numărul valorilor intermediare KIM, care se vor calcula pe fiecare interval cu ajutorul polinomului aproximant.

Mai trebuie precizat perifericul la care se face listarea prin citirea valorii lui LIST (LIST = 1 — listare la consolă, iar LIST = 2 listare imprimantă) și numărul EPSP necesar subprogramului de rezolvare a sistemului de ecuații (4); reprezintă limita sub care valoarea unui pivot se consideră nulă.

b. Gradul polimonului $p_m(x)$ se fixează la valoarea MGI.

c. Este apelat subprogramul LSQR, care generează elementele matricei $[XM]$, notată în linia de apel cu XMP și elementele vectorului $[XY]$, notat cu YMP. Sînt utilizate în acest scop relațiile (5) și (6). De asemenea, LSQR transformă tabloul XMP în vectorul $XMPV$ de dimensiuni $MPV = MP^2 (= m^2)$ prin concatenarea coloanelor, manevră reclamată de modul de funcționare a subprogramului DRESOL.

d. Este apelat subprogramul DRESOL [7], care calculează coeficienții a_i, $i = 0, m$.

e. Se calculează valorile $p_m(x_i)$ și estimatorul Δ al erorii.

f. Se crește gradul polinomului aproximant, de la MGI pînă la (NP—2), pentru fiecare grad fiind reluate etapele c—e. Se compară valoarea erorii de la gradul curent cu valoarea de la gradul imediat inferior. Cînd la analiza poli-

Anexa 1

```
      KON=1
      SW=0.
      SWF=0.
  134 MG=MGI
  135 MP=MG+1
      DELT=0.
      MPV=MP*MP
      CALL LSQR(XP,YP,NP,XMP,XMPV,YMP,MP,MPV)
      CALL DRESOL(XMPV,YMP,MP,KODP,EPSP)
      WRITE(LIST,99)KODP
   99 FORMAT(/,5X,'KOD=',I2)
      IF(KODP.EQ.1) GO TO 122
      WRITE(LIST,123)MG
  123 FORMAT(//,10X,'GRAD POL.=',I3,/,10X,13('-'),/)
      GO TO 124
  122 WRITE(LIST,125)
  125 FORMAT(/,1X,'? SISTEM  SINGULAR! MODIFICATI
      DATE.')
      GO TO 100
  124 WRITE(LIST,108)
  108 FORMAT(/,2X,'COEF. POLINOMULUI DE INTERPOLARE':
      DO 109 I=1,MP
      WRITE(LIST,110)I,YMP(I)
  110 FORMAT(3X,'A',I3,'=',D14.8)
  109 CONTINUE
      WRITE(LIST,111)
  111 FORMAT(/,1X,'VALORILE DATE RECALCULATE
      CU COEF. POLINOMULUI')
      DO 112 I=1,NP
  112 R(I)=0.
      DO 113 I=1,NP
      DO 114 J=1,MP
      JEX=J-1
  114 R(I)=R(I)+YMP(J)*XP(I)**JEX
      WRITE(LIST,115)R(I),YP(I)
  115 FORMAT(2X,F15.7,2X,'PENTRU=',F15.7)
  113 CONTINUE
      IF(SW.EQ.1)GO TO 133
      DO 130 IZ=1,NP
  130 DELT=DELT+(YP(IZ)-R(IZ))**2
      DELTA=DELT/(NP-MG-1)
      WRITE(LIST,150) DELTA
  150 FORMAT(10X,'DELTA=',F20.10)
      IF(KON.EQ.1)GO TO 139
      IF(DELTA.LE.DELTM) GO TO 139
      MG=MG-1
  136 WRITE(LIST,132) MG,DELTA
  132 FORMAT(/,2X,'GRADUL OPTIM =',I4,2X,
      'EROARE =',F20.10)
      IF(SWF.EQ.1.) GO TO 133
      SW=1.
      GO TO 135
  139 DELTM=DELTA
  131 IF(MG.GE.MGM) GO TO 137
      KON=KON+1
      MG=MG+1
      GO TO 135
  137 SWF=1.
      GO TO 136
  133 WRITE(LIST,116)
  116 FORMAT(//,1X,'CURBA INTERPOLATA CU VALORI
      INTERMEDIARE')
```

Anexa 2

```
      SUBROUTINE LSQR(X,Y,N,XM,XV,XY,M,MV)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      DIMENSION X(N),Y(N),XM(M,M),XV(MV),XY(M)
      DO 4 I=1,M
      DO 5 J=1,M
    5 XM(I,J)=0.
    4 CONTINUE
      DO 6 I=1,M
    6 XY(I)=0.
      DO 3 I=1,M
      DO 2 J=1,M
      EX=DBLE(I+J-2.)
      DO 1 K=1,N
    1 XM(I,J)=XM(I,J)+X(K)**EX
    2 CONTINUE
    3 CONTINUE
      DO 7 L=1,M
      DO 8 L1=1,N
    8 XY(L)=XY(L)+Y(L1)*X(L1)**(L-1)
    7 CONTINUE
      K1=1
      DO 9 J=1,M
      DO 10 I=1,M
      XV(K1)=XM(I,J)
   10 K1=K1+1
    9 CONTINUE
      RETURN
      END
```

nomului $p_{mc}(x)$ se constată o creștere a erorii față de polinomul $p_{mc-1}(x)$, acesta din urmă este declarat optim (presupunînd existența unui singur minim pentru eroare). Coeficienții săi sînt afișați, iar cu ajutorul aproximantei obținute se calculează valori intermediare în intervalele date (subdivizare uniformă).

Programul principal este pus la dispoziția celor interesați prin listarea zonei principale cu instrucțiuni și a subprogramului LSQR din anexele 1 și 2.

S-a utilizat limbajul FORTRAN și reprezentarea variabilelor în dublă precizie. Echipamentul de calcul fiind foarte lent (FELIX-M18B) pentru $N > 10$, timpii de calcul sînt importanți (zeci de minute). Programul poate fi modificat în sensul unor execuții rapide prin : renunțarea la dublă precizie, limitarea gamei de variație a gradului polinoamelor aproximante, listarea numai a rezultatelor care se referă la gradul optim și renunțarea la interpolări în puncte intermediare ale rețelei date.

Se prezintă ca exemplu de aplicare, determinarea unei aproximante pentru o curbă de primă magnetizare specificată doar prin 4 puncte. Rezultatele programului sînt cuprinse în figura 1.

```
                DEPENDENTA DATA :

X(  1)=      0.0000000 Y(  1)=      0.0000000
X(  2)=       .9000000 Y(  2)=       .9450000
X(  3)=      1.3000000 Y(  3)=      1.1000000
X(  4)=      2.0000000 Y(  4)=      1.1900000

        GRAD POL.=  2

 COEF. POLINOMULUI DE INTERPOLARE
  A  1= .40331017D-02
  A  2= .13701366D+01
  A  3=-.39010861D+00

VALORILE DATE RECALCULATE  CU COEF. POLINOMULUI
       .0040331  PENTRU:       0.0000000
       .9211680  PENTRU:        .9450000
      1.1259271  PENTRU:      1.1000000
      1.1838718  PENTRU:      1.1900000
          DELTA=          .0012939971

 GRADUL OPTIM =   2  EROARE =          .0012939971

 CURBA INTERPOLATA CU VALORI   INTERMEDIARE

  ARGUMENTE DATE  VALORILE CALCULATE
X=      0.0000000 Y=       .0040331
X=       .0900000 Y=       .1241855
X=       .1800000 Y=       .2380182
X=       .2700000 Y=       .3455311
X=       .3600000 Y=       .4467242
X=       .4500000 Y=       .5415976
X=       .5400000 Y=       .6301512
X=       .6300000 Y=       .7123850
X=       .7200000 Y=       .7882991
X=       .8100000 Y=       .8578935
X=       .9000000 Y=       .9211680
X=       .9000000 Y=       .9211680
```

Fig. 1. Rezultatele programului pentru aproximarea polinomială $p_2(i)$ a unei curbe de primă magnetizare.

Figura 2 redă curba construită cu ajutorul polinomului de aproximare calculat.

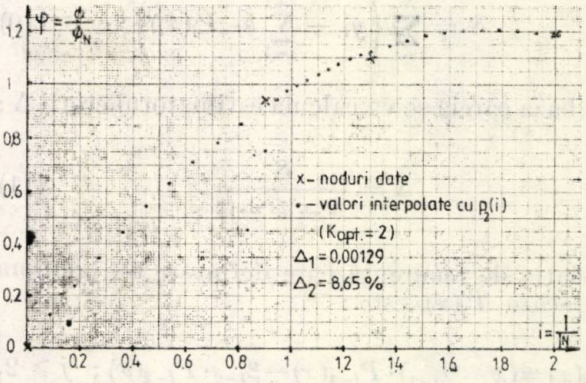


Fig. 2. Curba de magnetizare interpolată cu aproximanta $p_2(i)$.

Erorile, timpii de calcul și gradul optim pentru toate aplicațiile sînt centralizate în tabelul 1.

Și la acest tip de interpolare, erorile maxime apar pe intervalele extrem (și cresc cu N, deși eroarea globală se micșorează), așa încît se recomandă o extrapolare inițială a domeniului pentru ca zona de interes a datelor să fie afectată de erori minime. Sînt, de asemenea, utile filtrarea și normalizarea datelor inițiale.

2. Aproximări cu polinoame ortogonale de tip Cebîșev

Există programe pentru interpolări care folosesc polinoame ortogonale Cebîșev [1], [5], [7], însă realizează interpolări de tip local, pentru un argument intermediar nodurilor rețelei calculînd valoarea corespunzătoare a funcției. În cele ce urmează se prezintă un algoritm pentru obținerea coeficienților, atît a celui mai bun aproximant de tip Cebîșev, cît și a tuturor polinoamelor Cebîșev care se pot construi pe baza dependenței $(X-Y)$ date.

2.1. *Metoda de calcul*

Pentru colecția de date experimentale $(X-Y)_N$ se propune aproximanta :

$$g(x) = b_1 \cdot P_1(x) + b_2 \cdot P_2(x) + \ldots + b_{k+1} \cdot P_{k+1}(x), \tag{8}$$

cu $P_1(x), P_2(x) \ldots\ldots, P_{k+1}(x)$ polinoame ortogonale pe mulțimea valorilor $x_1, x_2 \ldots\ldots, x_N$, deci :

$$\sum_{l=1}^{N} P_i(x_l) \cdot P_j(x_l) = 0 \,;\, \forall i,j \underset{i \neq j}{=} \overline{1,\, k+1}. \tag{9}$$

Polinomul $P_i(x)$ este grad $(i-1)$.

Aplicarea metodei celor mai mici pătrate pentru determinarea funcției $g(x)$ înseamnă mini-

mizarea expresiei :

$$S = \sum_{i=1}^{N} \left(y_i - \sum_{j=1}^{k+1} b_j \cdot P_j(x_i) \right)^2 , \qquad (10)$$

pe baza căreia se va calcula estimatorul erorii Δ :

$$\Delta = \frac{S}{N - k - 1} . \qquad (11)$$

Relaţia de recurenţă care defineşte un polinom oarecare $P_j(x)$ este :

$$P_j(x) = (x - \alpha_{j-1}) \cdot P_{j-1}(x) - \beta_{j-2} \cdot P_{j-2}(x) ; \; j \geqslant 2, \qquad (12)$$

cu $P_0(x) = 0$ şi $P_1(x) = 1$.

Coeficienţii α_j şi β_j se calculează cu relaţiile [1] :

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i \cdot x_i \cdot p_j^2(x_i)}{\sum_{i=1}^{N} w_i \cdot p_j^2(x_i)} ; \; j = \overline{1,k}, \qquad (13)$$

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i \cdot p_{j+1}^2(x_i)}{\sum_{i=1}^{N} p_j^2(x_i)} ; \; j = \overline{1, k-1}, \qquad (14)$$

unde w_i reprezintă ponderea punctului (x_i, y_i) în seria de date. Forma explicită a oricărui polinom $p_i(x)$ din (8) este :

$$p_i(x) = Ai_1 \cdot x^0 + Ai_2 \cdot x^1 + \ldots + Ai_{k+1} \cdot x^k ;$$
$$i = \overline{1,k+1}, \qquad (15)$$

unde k este gradul cel mai mare utilizat. Se observă că toate polinoamele s-au retranscris într-o formă cu grad egal cu gradul maxim k, pentru comoditatea înregistrării lor într-o matrice $[A]$ a coeficienţilor, de tipul :

$$[A]_{(k+1)\times(k+1)} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & \ldots & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 & \ldots & 0 \\ \vdots & & & & \\ A_{k+1,1} & A_{k+1,2} & A_{k+1,3} & \ldots & A_{k+1,k+1} \end{bmatrix} \qquad (16)$$

Matricea [A] este de tip triunghiular şi se completează prin calculul succesiv al liniilor, elementele liniei j obţinîndu-se din elementele liniilor $(j-1)$ şi $(j-2)$, cu ajutorul relaţiei (12), în care polinoamele s-au înlocuit prin formele (15). După o serie de calcule se obţin :

$$\begin{cases} A_{i,1} = -\alpha_{i-1} \cdot A_{i-1,1} - \beta_{i-2} \cdot A_{i-2,1} ; \\ \quad i = \overline{3,k+1} ; \; j = \overline{1,\, k+1} \\ A_{i,i} = 1 ; \quad i = \overline{1,k+1} \\ A_{i,j} = A_{i-1,j-1} - \alpha_i ; \; i = \overline{3,k+1} ; j = \overline{i,k+1}. \end{cases} \qquad (17)$$

Cunoscînd primele două linii ale matricei $[A]$, cu ajutorul acestor relaţii se calculează toate elementele.

Coeficienţii b_j ai polinoamelor $p_j(x)$, $j = 1,k+1$, se determină cu relaţia [1], [5] :

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i \cdot p_j(x_i)}{\sum_{i=1}^{N} p_j^2(x_i)} . \qquad (18)$$

2.2. *Algoritmul şi programul de calcul* (INPORT)

a. Se preiau datele sub forma vectorilor X, Y care desemnează seria (x_i, y_i) de puncte obţinute experimental. Se mai furnizează numărul punctelor N, ponderile lor grupate în vectorul w, gradul maxim k al polinoamelor utilizate şi o serie de identificatori prin care se specifică : dacă se imprimă toate polinoamele aproximante sau numai cel optim, dacă se imprimă matricea $[A]$ şi coeficienţii b_j, dacă se face listarea la consolă sau imprimantă etc.

b. Este apelat subprogramul MATCEB care calculează elementele matricei [A]. Întrucît la determinarea coeficienţilor α şi β sînt necesare valorile $p_j(x_l)$, se utilizează subprogramul VALPOL care evaluează valoarea unui polinom dat pentru un argument specificat.

c. Se determină coeficienţii b_j, $j = \overline{1,\, k+1}$ prin apelarea repetată a subprogramului CODEOR care foloseşte relaţia (18).

d. Se imprimă matricea şi coeficienţii b_j dacă pentru cheia IP s-a precizat valoarea 1 ; în caz contrar se trece la pasul e.

e. Se testează valoarea cheii IT (variabilă de intrare). Pentru $IT = 1$ se urmează calea e_1, în caz contrar se urmează calea e_2.

e_1. În această variantă se vor calcula toate polinoamele Cebîşev care se pot forma pornind de la dependenţa dată, pentru fiecare precizînd valoarea erorii Δ.

Etapele de lucru sînt următoarele :

— Se apelează subprogramul POLORD care ordonează termenii aproximantei (8) după puterile lui x sub forma :

$$g(x) = a_1 + a_2 \, x + \ldots + a_{k+1} \cdot x^k ; \qquad (19)$$

— se calculează eroarea de aproximare a polinomului de grad curent utilizînd subprogramul FDISP;
— se calculeză valorile $g(x_i)$;
— se crește gradul curent pînă la K și se repetă etapele anterioare;
— se apelează subprogramul MINIM care precizează cea mai bună aproximantă în sensul unui Δ minim;
— folosind cea mai bună aproximantă se calculează valori intermediare nodurilor prin divizare uniformă a intervalelor e_2. În această variantă se crește automat gradul polinomului analizat pînă cînd eroarea începe să crească, polinomul anterior acestei creșteri fiind declarat optim. Pentru acesta se calculează valorile în punctele x_i, eroarea și se fac interpolări în puncte intermediare nodurilor.

O formă mai sugestivă pentru structura algoritmului INPORT o oferă figura 3.

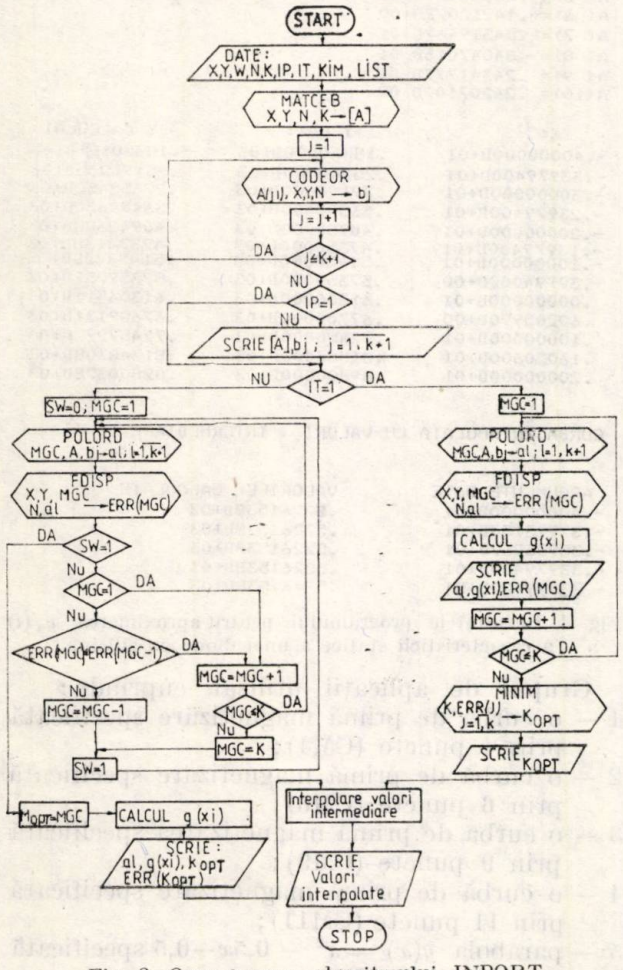


Fig. 3. Organigrama algoritmului INPORT.

În continuare se specifică semnificația unor variabile din organigramă care nu au fost comentate la explicarea algoritmului:

— KIM: numărul punctelor intermediare nodurilor în care se calculează valorile interpolate folosind polinomul aproximant;
— LIST: număr care desemnează perifericul pentru imprimarea rezultatelor;
— MGC: gradul curent al polinomului aproximant analizat;
— SW: cheie poziționată la valoarea 1 în momentul determinării gradului optim al aproximantei K_{OPT};
— ERR (MGC): șirul erorilor Δ, indexarea fiind făcută după gradul curent al aproximantei analizate.

Întrucît pentru exploatarea programului subrutina MATCEB este cea mai importantă, instrucțiunile sale sînt afișate în anexa 3.

Anexa 3

Instrucțiunile subprogramului MATCEB.

```
      SUBROUTINE MATCEB(X,W,M,K,KP1,A,P,Q,V,VVL
     ,VALPOL,AV,KP2)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION X(M),W(M),A(KP1,KP1),P(KP1)
      DIMENSION Q(KP1),V(M),VVL(M),AV(KP2)
      DO 2 J=1,KP1
      DO 3 I=1,KP1
3     A(I,J)=0.
2     CONTINUE
      A(1,1)=1.
      A(2,1)=0.
      DO 4 L=1,M
      A(2,1)=A(2,1)+W(L)*X(L)
4     CONTINUE
      A(2,1)=-A(2,1)/M
      A(2,2)=1.
      DO 10 I=3,KP1
      IM1=I-1
      IM2=I-2
      R11=0.
      R12=0.
      R14=0.
      DO 9 L=1,M
      DO 8 KK=1,KP1
      P(KK)=A(IM1,KK)
8     Q(KK)=A(IM2,KK)
      XL=X(L)
      CALL VALPOL(P,KP1,XL,VL)
      V(L)=VL**2
      R11=R11+W(L)*V(L)
      R12=R12+W(L)*X(L)*V(L)
      CALL VALPOL(Q,KP1,XL,WL)
      VVL(L)=WL**2
9     R14=R14+VVL(L)*W(L)
      ALPHA=R12/R11
      BETA=R11/R14
      A(I,1)=-A(IM1,1)*ALPHA-BETA*A(IM2,1)
      A(I,I)=1.
      DO 11 J=2,IM1
      JM1=J-1
      A(I,J)=A(IM1,JM1)-ALPHA*A(IM1,J)
11    A(I,J)=A(I,J)-BETA*A(IM2,J)
10    CONTINUE
      K1=1
      DO 200 J=1,KP1
      DO 201 I=1,KP1
      AV(K1)=A(I,J)
201   K1=K1+1
200   CONTINUE
      RETURN
      END
```

Semnificația variabilelor din linia de definiție: SUBROUTINE MATCEB (X,W,M,K, KP1,A,P,Q,V,VVL, VALPOL, AV, KP2);

X : vectorul argumentelor nodurilor, ordonat și de dimensiune M;
W : vectorul ponderilor punctelor date;

K : gradul maxim al polinomului ortogonal $p_i(x)$;
$KP1$: dimensiunea matricei A ; $KP1 = K+1$;
A : matrice care grupează coeficienții tuturor polinoamelor ortogonale ;
P,Q : vectori de lucru de dimensiuni $KP1$;
V,VVL : vectori de lucru de dimensiunea N ;
AV : vector de ieșire care conține matricea A cu coloanele concatenate ; dimensiune $KP2 = (KP1)^2$.

Pentru a elimina erorile la transferurile program-subrutine ale tablourilor de dimensiuni variabile, matricele s-au transformat în vectori obținuți prin succedarea coloanelor.

În programele de test, condiția de ortogonalitate a polinoamelor a fost verificată cu o eroare de ordinul 10^{-6}.

Relativ la pregătirea seriei de date pentru programul INPORT și erorile care apar, rămîn valabile considerațiile făcute pentru programul LYPOL. Tabelul 1 evidențiază rezultate foarte apropiate prin cele două variante, la valori mari ale lui N totuși INPORT fiind mai rapid ; acest avantaj se datorește calculului la începutul programului al tuturor polinoamelor ortogonale grupate în matricea A.

Ca aplicație a programului INPORT s-a calculat polinomul Cebîșev care aproximează cel mai bine caracteristica statică a unei diode cu siliciu. Rezultatele sînt prezentate prin figura 4, iar caracteristica construită cu ajutorul valorilor interpolate folosind aproximanta calculată, este expusă în figura 5.

Întrucît argumentele nodurilor precizate variază în domeniul a 6 ordine de mărime, programul a fost executat pentru $X = \{\lg(x_i)\}_{i=\overline{1,N}}$, după care s-a revenit la argumente normale.

3. Compararea algoritmelor și programelor de aproximare

Cele 5 programe elaborate (SYPOL, LAGR, TSPLY, LYPOL și INPORT) au fost executate pentru un set comun de aplicații, urmărind compararea rezultatelor (din punct de vedere al erorilor) și a timpilor de calcul.

Din punct de vedere al volumului de memorie ocupată, acesta nu este semnificativ (max. 15 KO pentru $N = 22$ la programul INPORT), chiar pentru microcalculatoare ; aceasta avînd în vedere faptul că programele prezentate se vor utiliza off-line, adică nu pot constitui segmente ale unor programe rapide.

Se menționează posibilitatea simplificării algoritmelor, a reducerii volumului de instrucțiuni și a timpului de calcul prin : funcționarea pe o singură ramură (cu minim de opțiuni, deci prin reducerea gradului de flexibilitate),renunțarea la listarea unor variabile intermediare și a unor mesaje etc.

Compararea programelor după criteriile enunțate este sintetizată în tabelul 1.

```
NR. DE PUNCTE DAT M=  13

GRADUL MAXIM AL POLINOMULUI DE INTERPOLARE K=   9

                VALORILE DATE

      X:              Y:              W:
-.40000000D+01   .18350000D+03   .10000000D+01
-.33979400D+01   .25200000D+03   .10000000D+01
-.30000000D+01   .29650000D+03   .10000000D+01
-.23979400D+01   .36500000D+03   .10000000D+01
-.20000000D+01   .40950000D+03   .10000000D+01
-.13979400D+01   .47350000D+03   .10000000D+01
-.10000000D+01   .51450000D+03   .10000000D+01
-.39794000D+00   .57350000D+03   .10000000D+01
 .00000000D+01   .61300000D+03   .10000000D+01
 .60205990D+00   .67700000D+03   .10000000D+01
 .10000000D+01   .72450000D+03   .10000000D+01
 .16020600D+01   .81350000D+03   .10000000D+01
 .20000000D+01   .89800000D+03   .10000000D+01

      **** GRADUL OPTIM = 9 ****
        EROAREA = .53990257D-01

            COEFICIENTII POLINOMULUI
A( 1)= .61304511D+03
A( 2)= .10082444D+03
A( 3)= .59150063D+01
A( 4)= .43989618D+01
A( 5)= .33625539D+00
A( 6)=-.14212072D+00
A( 7)= .84319467D-01
A( 8)= .84047016D-01
A( 9)= .24341777D-01
A(10)= .24207107D-02

      X:              Y DAT:          Y CALCULAT
-.40000000D+01   .18350000D+03   .18350101D+03
-.33979400D+01   .25200000D+03   .25198835D+03
-.30000000D+01   .29650000D+03   .29652452D+03
-.23979400D+01   .36500000D+03   .36499630D+03
-.20000000D+01   .40950000D+03   .40942303D+03
-.13979400D+01   .47350000D+03   .47324138D+03
-.10000000D+01   .51450000D+03   .51423728D+03
-.39794000D+00   .57350000D+03   .57359257D+03
 .00000000D+01   .61300000D+03   .61304511D+03
 .60205990D+00   .67700000D+03   .67689131D+03
 .10000000D+01   .72450000D+03   .72457277D+03
 .16020600D+01   .81350000D+03   .81348308D+03
 .20000000D+01   .89800000D+03   .89800328D+03

CURBA INTRPOLATA CU VALORI  INTERMEDIARE

 ARGUMENTE DATE        VALORILE CALCULATE
-.40000000D+01   .52261538D+03
-.37993133D+01   .52261538D+03
-.35986267D+01   .52261538D+03
-.33979400D+01   .52261538D+03
-.33979400D+01   .52261538D+03
```

Fig. 4. Rezultatele programului pentru aproximarea $g_9(i)$ a caracteristicii statice a unei diode cu siliciu.

Grupul de aplicații utilizat cuprinde :

1 — o curbă de primă magnetizare specificată prin 4 puncte (CM4) ;
2 — o curbă de primă magnetizare specificată prin 6 puncte (CM6) ;
3 — o curbă de primă magnetizarea specificată prin 9 puncte (CM9) ;
4 — o curbă de primă magnetizare specificată prin 11 puncte (CM11) ;
5 — parabola $y(x) = x^2 - 0{,}5x - 0{,}5$ specificată prin 6 puncte (P6) ;
6 — funcția $y(x) = \sin(\pi . x)$, specificată prin 7 puncte (S7).

Estimatorii de eroare folosiți :

$$\Delta_1 = \frac{\Sigma(y_i - p(x_i))^2}{N - k - 1} \; ; \; \Delta_2 = \frac{\Delta y_{\max}}{\bar{y}} \cdot 100\,(\%), \tag{20}$$

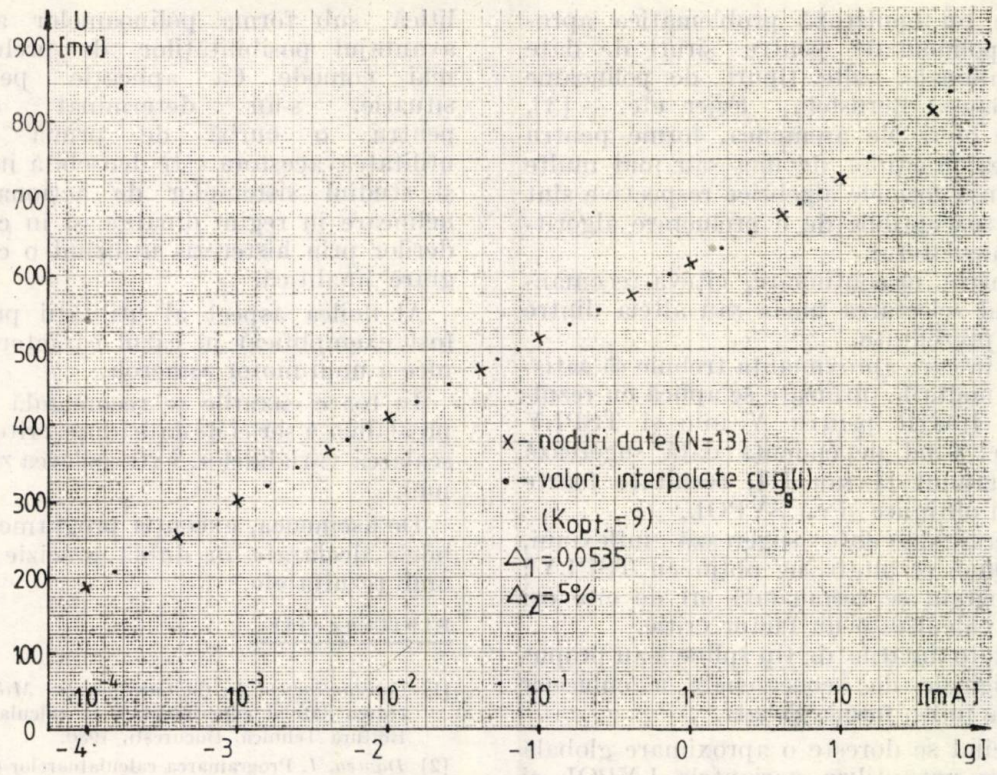


Fig. 5. Caracteristica statică a diodei interpolată cu aproximanta $g_9(i)$.

unde: $p(x_i)$ este valoarea aproximantei în nodul x_i;

k — gradul polinomului aproximant;

$$\Delta y_{max} = \max_{x_1 \leq x \leq x_N} (|y(x) - p(x)|), \quad (21)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \Sigma_i |y_i|. \quad (22)$$

Pentru aproximarea polinomială de grad variabil, atunci cînd acestuia nu i se impun limitări se mai poate utiliza estimatorul δ:

$$\delta = \Delta_1 . (N - K - 1). \quad (23)$$

În timp ce δ ca funcţie de N nu are decît un minim, Δ_1 poate prezenta mai multe extreme — ceea ce la programele LYPOL şi INPORT (pentru $IT \neq 1$) — poate conduce la declararea unui grad optim fals (local).

În tabelul 1, calculul indicelui Δ_2 pentru cazurile CM9 şi CM11 a făcut abstracţie de intervalele extreme unde la mărirea lui N erorile cresc sensibil la toate procedeurile, mai puţin la aproximările SPLINE unde fenomenul este mult diminuat. La valori şi mai mari pentru N, sînt afectate şi intervalele vecine celor extreme; de aici recomandarea extrapolării forţate a marginilor seriei de date.

4. Concluzii

Lucrarea a prezentat cîteva algoritme şi programe pe calculator pentru determinarea

Tabelul 1

Sinteza indicilor de comparaţie ai algoritmilor prezentaţi

		CM4	CM6	CM9	CM11	P6	S7
SYPOL	Δ_1	0	0	0	0	0	0
	Δ_2	15,3%	5,74%	2%	4,38%	10^{-6}%	$1,1 \cdot 10^{-3}$%
	t_c	30"	45"	1'	1'20"	30"	30"
LAGR	Δ_1	0	0	0	0	0	0
	Δ_2	14,83%	5,74%	1,17%	3,3%	10^{-5}%	$1 \cdot 10^{-5}$%
	t_c	5"	15"	2'	11'30"	10'	40"
TSPLY	Δ_1	0	0	0	0	0	0
	Δ_2	6,2%	2,3%	1,2%	0,85%	3,47%	0,6%
	t_c	12"	25"	35"	40"	25"	25"
LYPOL	Δ_1	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-31}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Δ_2	8,65%	3,44%	1,17%	1%	$1,95 \cdot 10^{-3}$%	0,2%
	t_c	30"	3'30"	15'	50'	2'30"	4'30"
	K_{opt}	2	4	7	8	2	4
INPORT	Δ_1	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$3,76 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-35}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Δ_2	8,65%	4%	1%	1,1%	$3,3 \cdot 10^{-4}$%	0,2%
	t_c	50"	4'	18'	35'	3'	7'
	K_{opt}	2	4	7	8	2	4

de aproximante polinomiale globale (sub forma algebrică standard) ale unor dependenţe discrete date. S-au expus 5 proceduri: SYPOL, LAGR, TSPLY (partea I-i), LYPOL şi INPORT (partea II-a).

O serie de aplicaţii din electrotehnică analizate sugerează posibilităţile şi avantajele aproximărilor polinomiale globale faţă de interpolările unctuale realizate cu aceleaşi tipuri de polinoame, pentru care există suficiente referinţe bibliografice.

Lucrarea nu epuizează problematica aproximărilor polinomiale pentru șiruri de date monodimensionale, alte tipuri de polinoame (Newton, Gauss, Bernstein, Fejer etc. — [3], [4, 6]) pot oferi, de asemenea, forme pentru aproximarea funcțiilor de una sau mai multe variabile, însă formele algebrice respective sînt mai puțin susceptibile de o prelucrare algoritmică cu calculatorul.

Se subliniază, în continuare, cîteva recomandări privind selectarea uneia sau alteia dintre variantele prezentate.

În cazul în care aproximanta trebuie să satisfacă exact nodurile furnizate se aplică cu rezultate bune LAGR pentru N mic și TSPLY la N mare. Cînd dependența dată sugerează curbe de gradul II sau III, rezultate foarte bune pot fi obținute și cu SYPOL.

Cînd seria de date sugerează inflexiuni, cele mai bune rezultate se obțin cu TSPLY; același program se recomandă ori de cîte ori timpul de calcul este un factor critic.

Pentru aproximările de tip șpline s-au propus forme originale de concatenare a cubicelor spline locale într-o formă globală.

Atunci cînd se dorește o aproximare globală imediată, se pot utiliza variantele LYPOL și INPORT, care, cu prețul unor timpi de calcul sensibil mai mari, oferă erori mici și realizează eliminarea parțială a erorilor de determinare.

Dacă dependența dată sugerează periodicități, locul polinoamelor algebrice trebuie cedat celor trigonometrice.

Procedurile și programele se pot folosi atît la o aproximare analitică a unei dependențe experimentale, cît și pentru o reformulare analitică sub forma polinoamelor algebrice cu avantajul posibilităților de prelucrare mult mai comode. Ca aplicație pentru prima situație, s-au determinat aproximante pentru o curbă de primă magnetizare utilitatea acestora este deosebită în modelarea; și studiul sistemelor de acționare electrică nelineare în regim dinamic și în calculul pierderilor prin histerezis utilizînd o comodă integrare analitică.

Al doilea aspect al utilității programelor a fost exemplificat în cazul caracteristicii mecanice a unui motor asincron.

În toate cazurile se recomandă o prelucrare prealabilă a seriei de date (după criterii statistice, scalarea variabilelor, extrapolarea zonelor extreme).

De asemenea, execuția programelor cu variabilele declarate în dublă precizie ameliorează mult rezultatele.

Bibliografie

[1] *Constantinescu, I., Golumbeanu, D., Militaru, C.* Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Editura Tehnică, București, 1980.

[2] *Dancea, I.* Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic și de cercetare științifică. Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1973.

[3] *Dodescu, Gh., Toma, M.* Metode de calcul numeric. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1976.

[4] *Dorn, W. S., Mc Cracken, D. D.* Metode numerice cu programe în Fortran IV. Ed. Tehnică, 1976, București.

[5] *Marinoiu V.* și col. Metode numerice aplicate în ingineria chimică. Ed. Tehnică, București, 1976.

[6] *Vraciu, G,. Popa, A.* Metode numerice cu aplicații în tehnica de calcul. Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1982.

[7] * * * Biblioteca matematică MATHLIB a sistemului de calcul FELIX — C 256.

CZ 621.316.923 : 621. 316. 052

SIGURANȚĂ FUZIBILĂ
DIFERENȚE FINITE
DISTRIBUȚIE DE TEMPERATURĂ

Utilizarea metodei diferențelor finite și studiul perioadei prearc la siguranțele fuzibile de înaltă tensiune

VALER GIURGIU, IOAN MARINESCU, IOAN TÖRÖK* — BUCUREȘTI

Introducere

Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune limitatoare de curent au o largă utilizare în instalațiile electrice și sînt în curs de perfecționare continuă.

Natura complexă a fenomenelor termice din siguranțele moderne, îngreunează mult găsirea unor soluții analitice de calcul, utile pentru proiectarea și dimensionarea elementelor fuzibile. Din acest motiv, elaborarea unor siguranțe noi necesită un volum mare de experimentări costisitoare.

Analiza distribuției de temperatură în elementul fuzibil pentru timpi prearc de ordinul milisecundelor și luînd în considerație cedarea de căldură în lungul firului, efectuată cu ajutorul calculatorului digital, asigură proiectantului rezultate utile, ce permit reducerea volumului experimentărilor de laborator.

1. Distribuția curentului și temperaturii în elementul fuzibil

Elementul fuzibil luat în studiu se compune dintr-o bandă subțire de argint, care are practicate pe lateralele sale, la un anumit pas, crestături de o anumită formă, cum se poate vedea în figura 1.

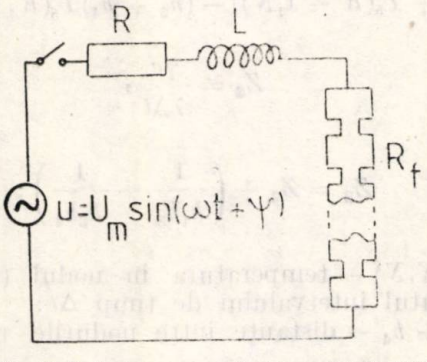


Fig. 1. Circuitul de încercare al siguranței fuzibile.

Considerînd o crestătură de formă dreptunghiulară, pe baza simetriei istmului format, rezultă că este suficient să se studieze doar un sfert din zona istmului.

Aplicarea metodei diferențelor finite presupune împărțirea domeniului de studiat într-o rețea de elemente paralelipipedice, obținîndu-se astfel rețele de calcul pentru distribuția curentului sau a temperaturii. În figura 2 se prezintă rețeaua folosită pentru calculul distribuției curentului.

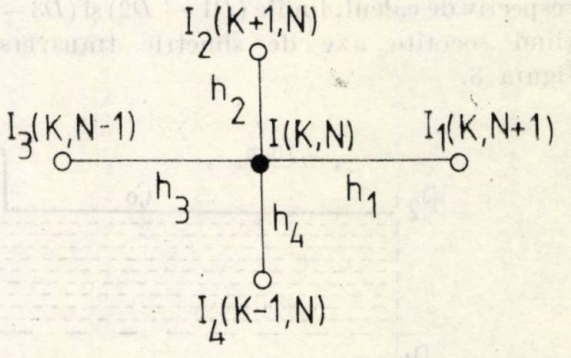


Fig. 2. Rețea de calcul cu pași variabili folosită la calculul distribuției curentului în elementul fuzibil.

Determinarea distribuției curentului și temperaturii în fiecare element paralelipipedic se face presupunînd că pe durata unei trepte mici de timp Δt, acesta are propietăți uniforme (temperatură, rezistivitate, conductivitate termică) în întreg volumul său.

La sfîrșitul fiecărei trepte de timp se recalculează distribuția temperaturii și curentului, pe baza valorilor din treapta de timp anterioară [1, 2].

Deoarece siguranțele fuzibile analizate au timpi prearc scurți, se poate considera că există transmisie de căldură doar în lungul elementelor fuzibile, distribuția temperaturii în acest caz fiind dată de relația :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\rho J^2}{\lambda}=\frac{\gamma c}{\lambda}\frac{\partial T}{\partial t}, \qquad (1)$$

în care :

ρ — este rezistivitatea, Ω cm³ ;
γ — densitatea, g/cm³ ;
c — căldură specifică, Ws/g°C ;
λ — conductivitatea termică, W/cm°C ;
J — densitatea de curent, A/cm² ;
T — temperatura, °C.

Expresia generală a curentului care produce funcționarea siguranței în circuitul de

* Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — București.

încercare este :

$$i = I_m[e^{-\delta t}\sin\alpha - \sin(\omega t - \alpha)], \quad (2)$$

unde :

I_m este valoarea de vîrf a curentului A ;

α — diferența între unghiul de defazaj al circuitului și unghiul de conectare ;

δ — constanta de amortizare a circuitului de încercare, $\delta = (R + R_f)/L$.

Datorită simetriei, pentru calculul distribuției curentului în elementul fuzibil se poate considera curent zero pe linia axei de simetrie longitudinală ($D1 - D4$), iar pe conturul exterior ($D2 - D3$) un curent egal cu jumătate din curentul prin elementul fuzibil, la timpul respectiv de calcul, liniile ($D1 - D2$) și ($D3 - D4$) fiind socotite axe de simetrie transversale, figura 3.

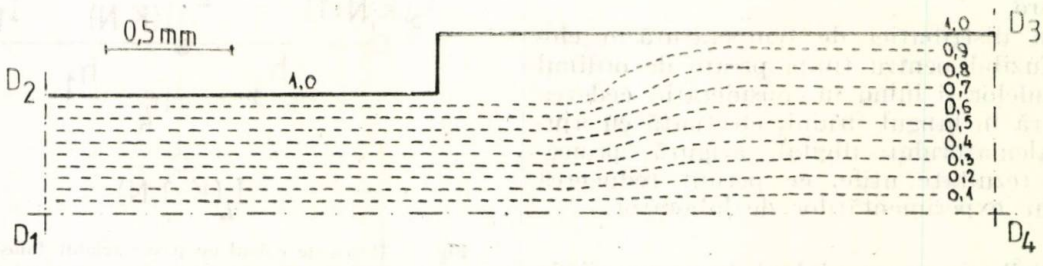


Fig. 3. Distribuția liniilor de curent de-a lungul unui sfert al istmului elementului fuzibil.

Densitatea de curent J din relația (1) se calculează pe baza valorilor curentului în nodurile rețelei de calcul în care s-a împărțit domeniul studiat, distribuția sa [2] fiind dată de relația :

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho\frac{\partial I}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho\frac{\partial I}{\partial y}\right) = 0. \quad (3)$$

Dacă elementul fuzibil este confecționat din argint [3], se pot scrie relațiile :

$$\rho = 1{,}47\cdot 10^{-6}(1 + 0{,}0041\cdot T + 5\cdot 10^{-7}\cdot T^2), \quad (4)$$

$$c = 0{,}232\ (1 + 0{,}00014\cdot T), \quad (5)$$

$$\lambda = 4{,}28 - 0{,}0007\cdot T. \quad (6)$$

Rezolvarea relației (1) s-a făcut utilizînd metoda Crank-Nicholson [4], în care temperatura din fiecare nod al rețelei de calcul se consideră media temperaturilor de la începutul și sfîrșitul intervalului de timp de calcul Δt, ceea ce permite atingerea unei bune precizii [5].

La fiecare treaptă de timp Δt, ecuațiile (1) și (3) se rezolvă prin iterații, la care, pentru grăbirea convergenței, se aplică metoda Liebmann extrapolată [2], ce utilizează un factor de accelerare M.

Temperatura într-un nod (K,N) al rețelei de calcul, la sfîrșitul intervalului de timp Δt, în iterația $(n+1)$ se calculează cu expresia ;

$$T^{n+1}(K,N) = (1 - M)\cdot T^n(K,N) + M\cdot[0{,}5\,(T_4 + T_6) + \frac{\rho J^2}{\lambda} + Z_2\cdot T_5(K,N)]/Z_3, \quad (7)$$

în care :

$$T_4 = \frac{2}{h_1h_3(h_1+h_3)}\{h_3[T^n(K,N+1) + T_5(K,N+1)] + h_1[T^n(K,N-1) + T_5(K,N-1] - (h_1+h_3)T_5(K,N)\}; \quad (8)$$

$$T_6 = \frac{2}{h_2h_4(h_2+h_4)}\{h_4[T^n(K+1,N) + T_5(K+1,N)] + h_2[T^n(K-1,N) + T_5(K-1,N)] - (h_2+h_4)T_5(K,N)\}; \quad (9)$$

$$Z_2 = \frac{\gamma c}{\lambda\Delta t}, \quad (10)$$

$$Z_3 = Z_2 + \left(\frac{1}{h_1h_3} + \frac{1}{h_2h_4}\right); \quad (11)$$

$T_5\,(K,N)$ — temperatura în nodul (K,N) la începutul intervalului de timp Δt ;

$h_1 \div h_4$ — distanțe între nodurile rețelei de calcul.

2. Rezultate de calcul și discuții

Programul realizat pe un calculator de birou a fost testat pe mai multe variante de elemente fuzibile cu diverse forme ale curentului de încercare.

În figura 4 se exemplifică un mod de prezentare grafică a distribuției de temperatură în

zona istmului unui element fuzibil prin care circulă un curent simetric.

Rularea programului pe calculator se oprește în momentul în care practic întreg istmul a devenit lichid, deoarece în continuare fenomenele termice în siguranță capătă o complexitate deosebită datorită trecerii în faza de vaporizare și nu există date suficiente pentru calcul.

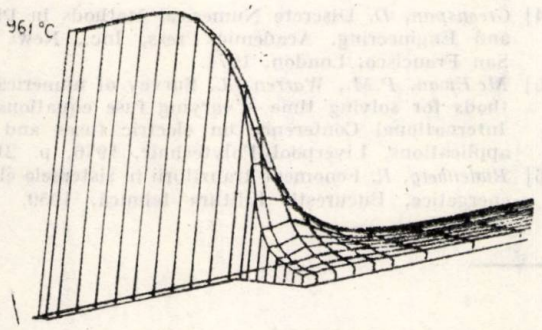


Fig. 4. Distribuția spațială a temperaturii în zona istmului elementului fuzibil.

În figura 5 se prezintă o oscilogramă obținută la încercarea unei siguranțe în laborator, din care se vede că timpul prearc al elementului fuzibil este de aproximativ 1,8 ms, de la începerea trecerii curentului prin siguranță.

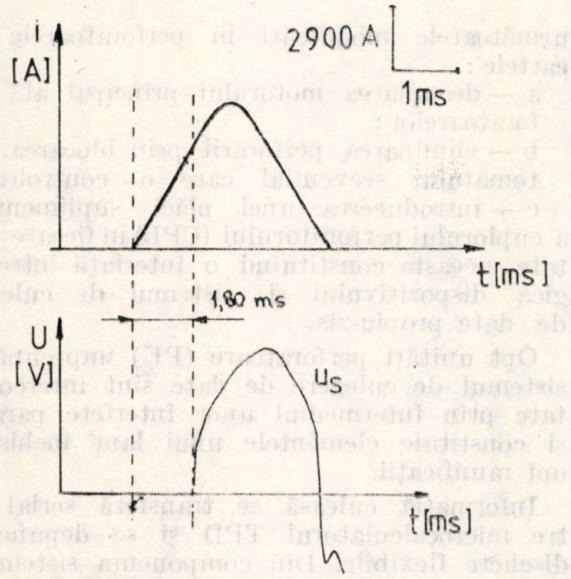


Fig. 5. Oscilograma obținută la încercarea unei siguranțe fuzibile de 63 A, 7 200 V la un curent prezumat de 5 380A.

Rezultatele de calcul, obținute cu ajutorul programului rulat pe calculator, în care se ține seama de cedarea de căldură în lungul firului, și cele obținute considerînd regimul pur adiabatic [6] se compară în figura 6.

Elementul fuzibil luat ca exemplu în lucrarea de față este confecționat din argint și are în zona istmului o secțiune $A = 10^{-3}$ cm², deci conform [6], se poate scrie :

$$I_1 = \int_0^{t_1} i_1^2 dt = K_1 A^2 = 591 \ [A^2 s], \qquad (12)$$

$$I_2 = \int_0^{t_2} i_2^2 dt = (K_1 + K_2) A^2 = 693 \ [A^2 s], \qquad (13)$$

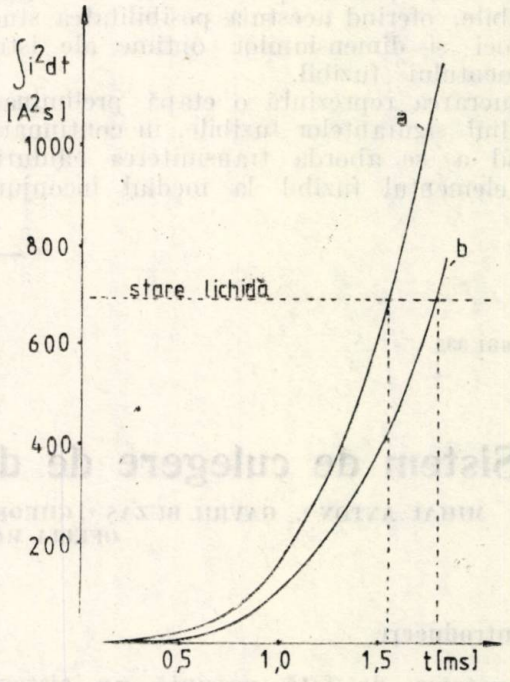


Fig. 6. Variația în timp a integralei pătratului curentului în raport cu timpul : a — regim adiabatic ; b — regim cu cedare de căldură în lungul firului.

în care :

i_1, t_1 — curentul, respectiv timpul la care se atinge temperatura de topire ;

i_2, t_2 — curentul, respectiv timpul la care 90% din istm este în stare de topire ;

K_1, K_2 constante de material [6] :

$K_1 = 5{,}91 \cdot 10^8$ $[A^2 s/cm^4]$,

$K_2 = 1{,}02 \cdot 10^8$ $[A^2 s/cm^4]$.

Ipoteza simplificatoare a considerării regimului pur adiabatic pe durata unor timpi prearc mici [6] presupune că întreaga cantitate de căldură dezvoltată în zona istmului este folosită la ridicarea conținutului său de căldură, ceea ce înseamnă că valoarea integralei I_2 se atinge mai repede ($t_2 \approx 1{,}55$ ms) decît în cazul cînd se consideră că există o cedare de căldură din zona istmului către restul elementului fuzibil, deci, crește intervalul de timp necesar atingerii valorii integralei I_2 ($t_2 \approx 1{,}8$ ms).

Conform rezultatelor din figura 6, doar ≈ 60% din cantitatea de căldură dezvoltată în zona istmului este folosită pentru ridicarea conținutului său de căldură, restul fiind cedată elementului fuzibil.

Se observă că metodica de calcul prezentată oferă posibilitatea calculului integralei I_2 doar în zona istmului, curentul avînd o expresie analitică sau valori discrete, citite de pe oscilogramă.

3. Concluzii

Metodica de calcul prezentată este de un real folos pentru proiectantul de siguranţe fuzibile, oferind acestuia posibilitatea studierii formei şi dimensiunilor optime ale istmului elementului fuzibil.

Lucrarea reprezintă o etapă preliminară în studiul siguranţelor fuzibile, în continuare urmînd a se aborda transmiterea căldurii de la elementul fuzibil la mediul înconjurător.

Bibliografie

[1] *Leach, J. G., Newbery, P. G., Wright, A.* Analysis of high — rupturing — capacity fuselink prearcing phenomena by a finite — difference method. In : Proc. IEE, Vol. **120**, nr. 9, 1973, p. 987—993.

[2] *Wilkins, R., Mc. Ewan, P.M.* A.C. short — circuit performance of notched fuse elements. In : Proc. IEE, Vol. **122**, nr. 3, 1975, p. 289—292.

[3] *Morgan,* T. Rating of conductors for short — duration currents. In : Proc. IEE, Vol. **118**, nr. 3/4, 1971, p. 555—570.

[4] *Greenspan, D.* Discrete Numerical Methods in Physics and Engineering. Academic Press, Inc., New York, San Francisco, London, 1974.

[5] *Mc Ewan, P.M., Warren, L.* Survey of numerical methods for solving time — varying fuse equations. In : International Conference on electric fuses and their applications, Liverpool Polytechnic, 1976, p. 21—32.

[6] *Rüdenberg, R.* Fenomene tranzitorii în sistemele electroenergetice, Bucureşti, Editura tehnică, 1959.

CZ 681.332

ACHIZIŢIE DE DATE
PERFORATOARE DE CARTELE
INTERFEŢE

Sistem de culegere de date de la perforatoare de cartele

MIHAI ANTON *, GAVRIL BUZAŞ *, GHEORGHE FARKAŞ *, HORIA PĂICUŢIU **, LADISLAU LICKER**
OFELIA MOLDOVAN * — CLUJ-NAPOCA

Introducere

Lucrarea de faţă prezintă un sistem de culegere de date care asigură stocarea informaţiilor de la 8 perforatoare de cartele de tip UNIVAC 1701 pe dischete flexibile cu ajutorul unui microcalculator TPD evitînd folosirea cartelelor. De aici rezultă unul dintre marile avantaje ale sistemului : economie masivă de cartele. Alături de acesta sistemul mai prezintă următoarele avantaje notabile : fiabilitate ridicată, funcţionare silenţioasă, menţinerea în funcţiune a unor dispozitive fiabile dar moral învechite.

În cele ce urmează se face descrierea principială a sistemului, dîndu-se unele amănunte funcţionale.

1. Descrierea sistemului

Ideea de bază este de a culege informaţia tastată de la perforatoarele de cartele fără modificări esenţiale în structura acestora. O altă cerinţă fundamentală este să nu se modifice modul de exploatare al perforatoarelor din punctul de vedere al operatorului. În vederea realizării deziderateloi amintite s-au operat următoarele modificări în perforatoarele de cartele :

a — decuplarea motorului principal al perforatoarelor ;

b — eliminarea perforării prin blocarea automatului secvenţial care o controlează ;

c — introducerea unei plăci suplimentare, a cuplorului perforatorului (CPL) în fiecare unitate, aceasta constituind o interfaţă între logica dispozitivului şi sistemul de culegere de date propiu-zis.

Opt unităţi perforatoare (PU) împreună cu sistemul de culegere de date sînt interconectate prin intermediul unor interfeţe paralele şi constituie elementele unui lanţ închis cu opt ramificaţii.

Informaţia culeasă se transferă serial către microcalculatorul TPD şi se depune pe dischete flexibile. Din componenţa sistemului mai face parte şi o consolă locală.

Schema-bloc a sistemului este redată în figura 1.

Sistemul de culegere de date (SCD) propriu-zis este o unitate relativ simplă, avînd o unitate centrală dezvoltată în jurul unui microprocesor U880 cu circuitele aferente. Utilizatorul are la dispoziţie toate facilităţile oferite de setul de instrucţiuni. Magistralele sistemului (adrese, date, liniile de control) sînt fiecare amplificate.

* Institutul pentru Tehnică de Calcul şi Informatică — Filiala Cluj-Napoca.
** Centrul Teritorial de Calcul Electronic.

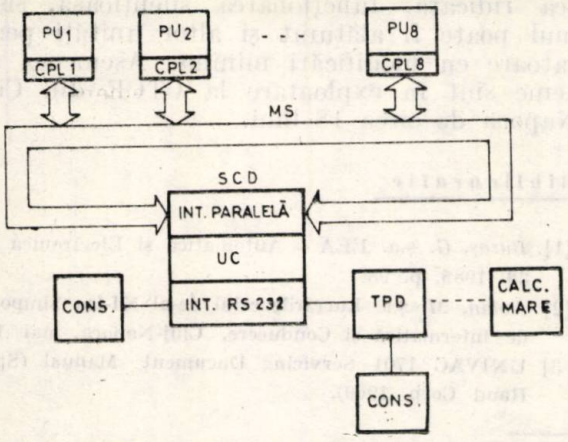


Fig. 1. Schema-bloc a sistemului de culegere de date de la perforatoarele de cartele.

Memoria RAM a sistemului este de 4 kocteți. Unitatea centrală este echipată cu 8 kocteți EPROM, din care o capacitate de 4k este la dispoziția utilizatorului. O capacitate de circa 4 k EPROM conține un program monitor care tratează preluarea caracterelor de la perforatoare și rezolvă unele situații de conflict.

În continuare se vor puncta cîteva particularități ale sistemului.

Sistemul este prevăzut cu două interfețe paralele programabile, o interfață-serie programabilă și un ceas programabil. Intrările și ieșirile acestor circuite sînt disponibile în conectori. Cercetările de întrerupere se tratează de utilizator.

Circuitul de ceas și circuitele de interfață sînt legate într-un lanț de întreruperi. Sistemul este astfel conceput încît acest lanț poate fi extins și la alte dispozitive folosite de utilizator. Adresele de selectare ale circuitelor amintite pot fi alese de către utilizator.

Utilizatorul are la dispoziție un bit programabil pentru validarea întreruperii nemascabile.

Magistrala paralelă (MS) între elementele sistemului are 12 linii, datele, adresele dispozitivelor, comenzile și semnalele de protocol reprezentînd fizic aceste linii. Pe unele dintre aceste linii dialogul este bidirecțional, sensul dîndu-se totdeauna din program.

Liniile magistralei sînt acționate de circuite de tip emițător/receptor, iar spre TPD și consola locală se dialoghează prin interfețe RS 232.

2. Modul de funcționare

Operatorul tastează datele de introdus, ale căror coduri se memorează în memoria perforatorului. După tastarea ultimului caracter semnificativ al cartelei se tastează tasta FEED, sau dacă există deja 80 de caractere se generează automat funcția acestei taste, care marchează sfîrșitul informației din cartela respectivă. Efectul tastei FEED constă în emiterea spre sistemul de culegere de date a unui semnal de cerere de transfer al cartelei. Procesorul preia de la perforator cele 80 de caractere, le transformă în coduri ASCII și le trimite mai departe spre TPD.

Microcalculatorul TPD sortează informația primită și o depune pe discul flexibil într-un fișier corespunzător lucrării căreia aparține cartela respectivă.

Tastatura perforatorului rămîne blocată pînă la confirmarea depunerii corecte a informației pe dischetă.

Din punct de vedere software există două tipuri de cartele care se introduc de la perforator :

a — cartelă de comandă care are formatul :

/ ⊜ ⊜ /M M M M/P P/Z Z /C/ N N /

nr. coloanei : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13,

unde ⊜ ⊜ este semnul caracterului de comandă, MMMM codul machetei (4 caractere alfanumerice), P codul perforatoarei (2 caractere alfanumerice), ZZ ziua curentă, C codul comenzii (D deschide fișier, I închide fișier), NN numărul zonei (2 caractere numerice);

b — cartelă de date care conține 80 de caractere.

Dialogul între sistemul de culegere de date și TPD are loc la nivelul unei cartele. Sistemul de culegere de date testează perforatoarele și preia o cartelă de la perforator, iar după această operație blochează tastatura acestuia. Sistemul de culegere de date realizează o coadă de așteptare formată din 8 cartele, cîte una de la fiecare perforator. După confirmarea recepției se scoate o nouă cartelă din coada de așteptare și se emite spre TPD.

Din punctul de vedere al TPD-ului există două regimuri de funcționare :

a — se preia cartela prin intermediul sistemului de culegere de date și se înscrie în fișierele ce au fost deschise de fiecare perforator. Preluarea poate fi întreruptă oricînd prin tastarea unei comenzi de la consola TPD-ului;

b — se intră în tratarea comenzii la sfîrșitul preluării cartelei în curs fără să emită un semnal de achitare spre sistemul de culegere de date.

Comenzile acceptate de TPD sînt : listarea ultimei cartele introduse, închiderea fișierelor în lucru, verificarea stării dischetei pe care se scrie, reluarea preluării cartelei.

Toate comenzile posibile se aleg pe baza unui meniu afișat la consola TPD-ului.

La nevoie datele înregistrate pe dischete flexibile se transferă într-un calculator mare.

3. Concluzii

S-a realizat culegerea datelor furnizate de la opt perforatoare de cartele de tip UNIVAC 1701 și depunerea lor pe dischete flexibile. Realizarea se bazează pe sistemul de culegere de date clădit în jurul unui microprocesor U880 care se interconectează cu cele 8 unități perforatoare prin intermediul unei magistrale de 12 linii. Sistemul dialoghează serial cu un microcalculator TPD care rezolvă problema depunerii informațiilor pe dischete. Dintre avantajele sistemului se subliniază: eliminarea consumului de cartele, fiabilitatea ridicată, funcționarea silențioasă, sistemul poate fi alăturat și altor unități perforatoare cu modificări minime. Asemenea sisteme sînt în exploatare la CTCE din Cluj-Napoca de circa 18 luni.

Bibliografie

[1] *Buzaș, G.* ș.a. EEA — Automatica și Electronica vol. **29**, 1985, p. 98.

[2] *Anton, M.* ș.a. Lucrările celui de-al XI-lea Simpozion de Informatică și Conducere, Cluj-Napoca, mai 1987

3] UNIVAC 1701 Servicing Document Manual (Spery Rand Corp. 1969).

CZ 621.3.082

MĂSURĂRI ELECTRONICE
DEFORMAȚII ȘI TENSIUNI MECANICE
CRIOGENIE
SUPRACONDUCTIBILITATE

Măsurări electronice pentru evaluarea deformațiilor și tensiunilor mecanice din înfășurări supraconductoare

IOAN PUFLEA, ANDREI PETRU POPESCU* — BUCUREȘTI

Aplicarea metodelor de calcul pentru determinarea deformațiilor și tensiunilor mecanice în cazul specific al înfășurărilor supraconductoare prezintă unele limite, atît din cauza faptului că modelul de calcul adoptat poate diferi destul de mult de situația reală, cît și a faptului că în domeniul temperaturilor criogenice nu sînt încă suficient de cunoscute constantele de material.

Ca atare, în scopul soluționării problemelor de proiectare și construcție care apar, spre exemplu, în cazul sistemelor cu electromagneți supraconductori, se pot utiliza metode experimentale de măsurare electronică. Tehnicile experimentale au drept obiect măsurarea precisă a unor deformații foarte mici, care se produc în corpurile elastice aflate sub sarcini. Cunoscînd deformațiile prin aplicarea relațiilor teoriei elasticității se determină tensiunile mecanice. Tensometria în aceste condiții ridică probleme specifice legate, în primul rînd, de temperatura foarte scăzută la care se situează atît înfășurările supraconductoare, cît și traductoarele utilizate.

1. Traductorul tensometric rezistiv cu folie

Pe baza experienței acumulate în ICPE în realizarea traductoarelor s-a optat pentru un procedeu de măsurare electronică a deformațiilor și tensiunilor mecanice din înfășurări supraconductoare, care utilizează traductoare tensometrice rezistive cu folie.

Traductorul tensometricu cu folie prezintă avantajul stabilirii unui contact mecanic și termic bun cu piesa și poate fi realizat la dimensiuni mici, fără complicații tehnologice majore.

Materialul rezistiv de grosime 2...20 μm se aplică pe un suport, iar elementul sensibil se obține prin decupare cu mijloace fotochimice.

Adezivul utilizat asigură o întărire rapidă, robustețe, rezistență la umiditate și o bună flexibilitate la temperaturi criogenice.

În cazul unei singure tensiuni mecanice de direcție cunoscută, măsurînd alungirea specifică ε_L, această tensiune σ se calculează cu relația:

$$\sigma = \varepsilon_L \cdot E,$$

unde E este modulul de elasticitate al materialului.

În cazul unei stări plane de tensiuni mecanice, căreia i se cunosc direcțiile principale, se măsoară alungirile specifice ε_{L1}, ε_{L2}, așezînd două traductoare pe direcțiile respective și se determină tensiunile cu relațiile:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{L_1} + \mu\varepsilon_{L_2}),$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{L_2} + \mu\varepsilon_{L_1}),$$

* Ing. *Puflea I.*, Ing. *Popescu A. P.* — ICPE — București.

unde μ este coeficientul Poisson, ce caracterizează raportul dintre deformarea relativă transversală și deformarea relativă longitudinală.

Dacă direcțiile principale nu sînt cunoscute se folosesc rozete tensometrice cu trei traductoare, cu ajutorul cărora se află alungirile specifice principale și direcțiile principale, după care se aplică relațiile anterioare pentru calculul tensiunilor mecanice.

În lucrarea [1] sînt detaliate schemele și relațiile de calcul pentru tipuri de rozete tensometrice curent utilizate.

Ca valoare medie a limitei superioare a alungirii specifice pentru conductoarele metalice se poate considera $\varepsilon_L = 1\%$. Acesteia îi corespunde pentru o piesă din oțel :

$$\sigma = E \,.\, \varepsilon_L = 2.10^{11}.\, 10^{-2} = 2.10^9 \text{ N/m}^2,$$

valoare care depășește pe cele uzuale din practică.

Frecvența la care poate lucra traductorul tensometric rezistiv este limitată doar de viteza de propagare a undelor elastice în interiorul traductorului. Este necesar ca lungimea undei elastice să fie de cel puțin 7 ...10 ori mai mare decît lungimea traductorului. Alegînd lungimea de undă λ de 7 ori mai mare decît lungimea unui traductor cu baza de 20 mm, la o viteză de propagare $v = 3\,000$ m/s, rezultă frecvența solicitării variabile ν :

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3\,000}{7 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} \simeq 20\,000 \text{ Hz},$$

care este superioară celor întîlnite în practică.

În concluzie, traductorul tensometric rezistiv cu folie se dovedește util scopului propus.

În lucrările [2], [3] se calculează, pentru conductoare supuse unei stări de tensiuni liniare, variația relativă a rezistenței $\varepsilon_R = \dfrac{\Delta R}{R}$ cu relația :

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1 + 2\mu)\, \varepsilon_L,$$

unde ρ este rezistivitatea electrică a materialului și μ este coeficientul Poisson.

În continuare se definesc următoarele caracteristici :

— coeficientul tensometric al traductorului :

$$K = \frac{\Delta \rho}{\rho},$$

— constanta de sensibilitate tensometrică :

$$S = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon_L} = 1 + 2\mu + \frac{1}{\varepsilon_L}\,\frac{\Delta \rho}{\rho}$$

O problemă importantă o constituie variația temperaturii în timpul efectuării măsurătorilor, deoarece se produce o variație a rezistenței care se adaugă variației de rezistență datorată deformării mecanice.

Expresia erorii introduse este următoarea :

$$\Delta \varepsilon_\theta = \left[\frac{\alpha_\theta}{S} + \beta_{\theta P} - \beta_{\theta T}\right] \cdot \theta,$$

unde α_θ este coeficientul de temperatură al rezistivității electrice ;

$\beta_{\theta P}$ — coeficientul de dilatare liniară a piesei ; $\beta_{\theta T}$ — coeficientul de dilatare liniară a traductorului ; θ — încălzirea traductorului față de mediu.

Variația de temperatură în regim de lucru al traductorului conduce și la modificarea constantei de sensibilitate tensometrică a acestuia, caracterizată prin coeficientul γ_θ .

Deoarece variațiile de rezistență care rezultă sînt de obicei foarte mici, stabilitatea rezistenței traductoarelor în timpul măsurătorilor este esențială. Din acest motiv se folosesc de preferință aliaje cu coeficient de temperatură mic, de tipul constantanului și crom — nichelului, la care $S = 1{,}9 \ldots 2{,}1$ [2].

Totodată pentru obținerea unui semnal util cît mai mare traductorul tensometric rezistiv trebuie să aibă și o rezistență mare.

Întrucît măsurătorile se efectuează la temperaturi criogenice, utilizarea unui material cu coeficient de temperatură negativ al rezistivității electrice este considerată avantajoasă. Este cazul constantanului care are acest coeficient egal cu -3.10^{-5}/(per)K.

Puterea P disipată în traductor este limitată de încălzirea θ față de piesă, care generează erori de măsură mari.

Relația de calcul este următoarea :

$$\theta = \frac{P}{\alpha \cdot A} = \frac{Q}{\alpha},$$

unde α reprezintă coeficientul de transfer de căldură ; A — suprafața de schimb de căldură ; Q — fluxul termic.

Prin lipirea traductorului de piesă, fluxul termic transmis către piesă este estimat a fi de 200 ...300 ori mai mare decît fluxul termic transmis în mediul ambiant ; practic se poate considera că fluxul termic se transmite integral către piesă. Suprafața de schimb de căldură la traductorul rezistiv cu folie trebuie considerată, în consecință, suprafața lipită de piesă.

De asemenea se estimează că fluxul termic variază în general în limite relativ restrînse, avînd valori $Q = 26 \ldots 28$ kW/m^2 pentru piese din oțel, $Q \simeq 50$ kW/m^2 pentru piese din cupru

sau aluminiu, $Q \simeq 3 kW/m^2$ pentru piese din mase plastice.

Pentru traductorul tensometric rezistiv cu folie avînd lungimea l și dimensiunile secțiunii transversale $d \times g$, curentul admisibil se determină cu relația :

$$I_a = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \theta d^2 \cdot g}{\rho}}.$$

Toate considerațiile expuse anterior, precum și proprietățile de material ale constantanului ($\mu = 0,3$; $E = 3 \cdot 10^{13}$ N/m^2 ; $\rho = 0,46\,10^{-6} \Omega m$; $K = 0,45\,\varepsilon_L$; $S = 2,05$; $\alpha_\theta = 3 \cdot 10^{-5}/K$; $\beta_\theta = 1,7 \cdot 10^{-5}/K$; $\gamma_\theta = -3 \cdot 10^{-5}/K$, conform [4], [5]), justifică alegerea traductorului tensometric rezistiv cu folie din constantan pentru temperaturi criogenice.

Valorile obișnuite ale rezistenței electrice a traductoarelor sînt 120Ω, 240Ω, 360Ω, 500Ω, dar se pot obține fără complicații tehnologice majore și valori de 5 000Ω.

2. Circuite de măsurare electronică. Protecția la perturbații.

2. Circuite de măsurare electronică. Protecția la perturbații

Pentru traductoarele tensometrice rezistive cel mai adecvat circuit de măsurare electronică îl constituie puntea alimentată în curent continuu.

Cunoscînd valorile curentului admisibil între 5 . . .20 mA și cele ale rezistenței traductorului rezultă valori pentru tensiune în domeniul 2 . . .12V. Semnalul de ieșire al punții nu depășește 10 . . .50 mV la alungiri specifice $\varepsilon_L = 1\%$.

În figura 1 este prezentată schema de principiu a măsurării electronice prin utilizarea unui sistem de cuplare diferențială a două traductoare tensometrice rezistive în două brațe vecine ale punții.

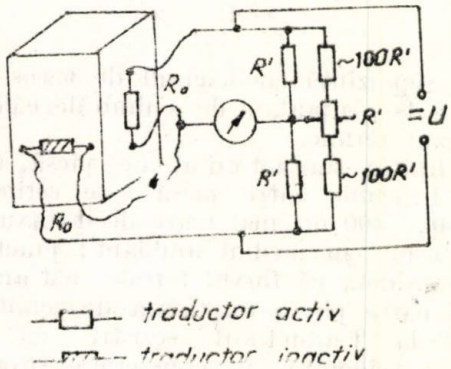


Fig. 1. Schema de principiu a măsurării electronice pentru evaluarea deformațiilor și tensiunilor mecanice din înfășurări supraconductoare.

Astfel, se estimează că eroarea de temperatură a nulului scade de 10 . . .20 ori, în comparație cu eroarea de temperatură în cazul traductorului individual.

Motivația alegerii circuitului electronic o constituie posibilitatea corecției erorilor de temperatură ale nulului și de sensibilitate și posibilitățile de rejecție a perturbațiilor electromagnetice.

În figura 2 este prezentată o variantă a unei scheme de măsură cu compensarea nulului și rejecția anumitor perturbații electromagnetice

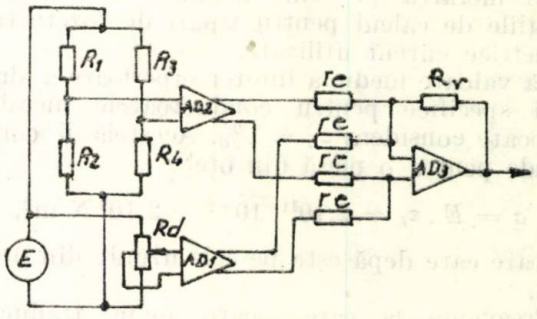


Fig. 2. Schema de măsură cu compensarea nulului și rejecția anumitor perturbații electromagnetice.

Sursa de alimentare a punții (stabilizator de tensiune) este cuplată la un dispozitiv de balansare, realizat sub forma unui divizor de tensiune (rezistența R_d) cu un amplificator diferențial cu rezistență mare la intrare AD 1. Tensiunea la ieșirea punții este amplificată de preamplificatorul diferențial AD 2. La intrarea în amplificatorul diferențial AD 3 se însumează tensiunile la ieșirea amplificatoarelor diferențiale AD 1 și AD 2. O largă răspîndire o prezintă și punțile evasiechilibrate. Curentul la ieșirea punții se echilibrează cu ajutorul curentului unei surse de curent stabilizat suplimentare astfel încît să se realizeze condiția $U_{ep} = 0$. În figura 3 este prezentată o schemă de măsură realizată pe acest principiu. Alimentarea punții $R_1 \div R_4$ este asigurată de la o sursă de curent stabilizat. Amplificatorul operațional AO 1 cu reacție negativă echilibrează puntea prin introducerea curentului I_e în nodul a al diagonalei de ieșire a punții. Amplificatorul operațional AO 2 realizează alimentarea „flotantă" a punții astfel încît potențialul nodului b să fie aproape de nul. În acest caz tensiunea de ieșire este $U_e = I_e \cdot R_5$. Circuitul format din rezistențele R_6 și R_7 stabilește nivelul inițial.

Măsuri deosebite se impun în vederea asigurării compatibilității electromagnetice a sistemului electronic de evaluare a semnalului analogic util [6].

În acest sens, pentru rejecția perturbațiilor se impune utilizarea unor cabluri torsadate, ecranate, a unei filtrări „trece-jos" cu frecvența de tăiere de 2 000 Hz, a echilibrării intrărilor amplificatoarelor diferențiale. În timp ce filtrarea este utilă atît pentru rejecția pertur-

baţiilor de mod comun, cît şi a perturbaţiilor de mod diferenţial, echilibrarea intrărilor amplificatoarelor se dovedeşte utilă pentru rejecţia perturbaţiilor de mod comun.

O atenţie deosebită se acordă minimizării şi echilibrării cuplajelor parazite ce pot apare în zona de măsurare şi de transmitere prin cablu a semnalului analogic.

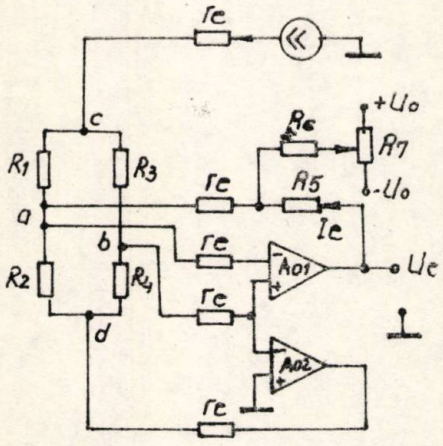


Fig. 3. Schemă de măsură realizată pe principiul punţii de c.c. cvasiechilibrate.

3. Concluzii

Aplicarea măsurării electronice pentru evaluarea deformaţiilor şi tensiunilor mecanice din înfăşurări supraconductoare utilizînd traductoare tensometrice rezistive cu folie din constantan conduce la obţinerea unor performanţe notabile privind sensibilitatea măsurărilor şi rejecţia perturbaţiilor.

Se creează posibilitatea experimentală de verificare şi, respectiv, corecţie a relaţiilor de calcul utilizate în proiectare şi a soluţiilor constructive adoptate.

Totodată, se pot determina şi pentru alte aplicaţii caracteristicile mecanice ale materialelor care se pot utiliza la temperaturi criogenice.

Bibliografie

[1] *Buzdugan, Gh.* Rezistenţa materialelor; Editura Academiei RSR, Bucureşti, 1986.
[2] *Nicolau, E.* ş.a. Manualul inginerului electronist. Măsurări electronice; Editura Tehnică, Bucureşti, 1979.
[3] *Iliescu, C.* Măsurări electrice şi electronice; Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
[4] * * * Memoratorul inginerului electrician. Editura Tehnică, Bucureşti, 1971.
[5] *Malkov, M. P.* Spravocinik po fiziko — tehniceskim osnovam kriogeniki. Energoatomizdat, Moskva, 1985.
[6] *Săndulescu, Gh.* Protecţia la perturbaţii în electronica industrială şi automatizări; Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ȘI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) București. Articolele propuse spre publicare și cererile de abonamente se vor trimite la redacția revistei, București, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 și 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poștal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, București, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unități industriale și instituții, ca și pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

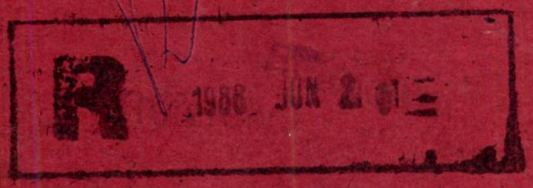
Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export — import presă — București — Calea Griviței nr. 64—66. P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Întreprinderea Poligrafică „Informația“
Tiparul :
București, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 1803

1908 SEP 0 8

E 2040/1

ETE



Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 36 • NR. 3 • APRILIE 1988

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 36 Nr. 3 aprilie 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.384.52 : 661.94

OZON
APLICAŢII
GENERATOR DE OZON
Cramariuc, R. ş.a. : **Ozon industrial.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 95
Se prezintă pe scurt aplicaţiile industriale ale ozonului şi mecanismul de producere al acestuia, schema generală a instalaţiei în care se produce şi variantele constructive ale generatoarelor de ozon, inclusiv a celor construite în varianta generaţia I—i la ICPE. Se comentează unele caracteristici importante pentru performanţele generatorului de ozon şi se dau unele caracteristici ale generatoarelor ICPE.

CZ 681.142 : 621.316.05

ECUAŢII DIFERENŢIALE
SISTEME AUTOMATE
ELECTROTEHNICA
Coloşi, T., Darie, S., Danca, M. : **Liniarizarea local-iterativă a soluţiei ecuaţiilor diferenţiale, cu aplicaţii în teoria sistemelor automate şi electrotehnică.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 100
Lucrarea conţine cîteva rezultate de sinteză din referinţele [1], [2] ... [9] evidenţiindu-se unele aspecte semnificative, teoretice şi aplicative ale procedeului numeric de liniarizare local-iterativă a soluţiei ecuaţiilor diferenţiale ordinare.

CZ 534.837

PROCES SINUSOIDAL
ZGOMOT
Toma, L. : **Reducerea erorilor de estimare a frecvenţelor sinusoidelor prin mărirea pasului de eşantionare şi utilizarea informaţiilor apriori.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 108
În articol se demonstrează teoretic şi experimental că, pentru un proces compus din sinusoide în zgomot, mărirea pasului de eşantionare peste limita impusă de teorema eşantionării şi utilizarea informaţiilor apriori la eliminarea „erorilor-alias", conduc la reducerea erorilor de estimare a frecvenţelor sinusoidelor.

CZ 621.316.1 : 537.313

REŢELE ELECTRICE
LEGILE LUI KIRCHOFF
Alecu-Călusiţa, M. : **Legile lui Kirchoff pentru reţele electrice conţinînd linii electrice lungi.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 110
Lucrarea descrie un program de calcul pentru reţele electrice incluzînd linii lungi, alcătuit la ICPE—Bucureşti şi aplicat la modelarea reţelelor de conducte de gaze.

CZ 656.22 : 621.3.011.3

TRANSPORTURI FEROVIARE
INDUCTOARE DE CALE
Tudorache, C. : **Inductoare de cale pentru instalaţiile de autostop INDUSI—I—60 avînd bobina cu miezul din tole.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 112
Lucrarea prezintă rezultatele cercetării unui colectiv din cadrul Centrului de Fizică şi Tehnică — Iaşi privind fabricarea bobinelor cu miezuri din ferită ale inductoarelor de cale cu bobine cu miezuri din materiale magnetice metalice indigene.

CZ 621.316.17 :621.316.35

INSTALAŢIE ELECTRICĂ DE ÎNCĂLZIRE
BARE ELECTRICE DE ÎNCĂLZIRE
Creţu, E.V. : **Instalaţie electrică pentru încălzirea şuruburilor chiulasei pentru motoare diesel navale fabricaţie I.C.M. Reşiţa.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 3, apr 1988, p. 117
În lucrare este prezentată instalaţia electrică pentru încălzirea şuruburilor chiulasei pentru motoare diesel navale fabricaţie I.C.M. Reşiţa, instalaţie care a fost omologată la I.N.M.T. Bucureşti. Sînt enumerate în lucrare funcţiile pe care trebuie să le îndeplinească instalaţia, apoi prezentîndu-se componenţa, funcţionarea aparatului, cît şi problemele rezolvate în realizarea barelor de încălzire.
Instalaţia poate avea şi alte utilizări similare (ex : stringerea şuruburilor turboagregatelor, stringerea şuruburilor de bielă pentru motoare diesel navale etc.).

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. teh. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HANGANUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; prof. dr. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI
Tehnoredactor : CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.384.52: 661.94

ОЗОН
ПРИМЕНЕНИЯ
ОЗОНОВЫЙ ГЕНЕРАТОР
Крамарюк, Р. и др.: **Промышленный озон.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 95

Кратко представляются промышленные применения озона и механизм производства этого, общая схема установки в которой он производится и конструктивные варианты озоновых генераторов, включительно и тех, изготовленных вариантом I-ого поколения в ICPE. Обсуждаются некоторые важные характеристики достижений озонового генератора и даются некоторые характеристики генераторов ICPE.

УДК 681.142: 621.316.05

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
Колоши, Т. , Дарие, С., Данка, М.: **Локально-иттеративная линеаризация решения дифференциальных уравнений, с применениями в теории автоматических систем и электротехнике.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 100

Работа содержит несколько результатов синтеза из справок [1], [2]...[9], отмечая некоторые важные, теоретические и применяемые аспекты цифровой процедуры локально-иттеративной линеаризации решения дифференциальных обыкновенных уравнений.

УДК 534.837

СИНУСОИДАЛЬНЫЙ ПРОЦЕС
ШУМ
Тома , Л.: **Сокращение погрешностей определения частот синусоид при помощи увеличения шага эшантионирования и применение априорных информаций.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 108

В статье демонстрируется теоретически и экспериментально что для одного процесса, составленного из синусоид в шуме, увеличение шага эшантионирования над лимитом, вынужденным теоремой эшантионирования и применением априорных информаций при удалении ,,алиас-погрешностей'', ведет к соркащению погрешностей определения частот синусоид.

УДК 621.316.1: 537.313

ЭЛЕКТРОСЕТИ
ЗАКОНЫ КИРКОФ
Алеку-Кэлушицэ, М.: **Законы Киркоф для электросетей, содержащие длинные электрические линии.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 110

Работа описывает программу расчёта электросетей, содержащая длинные линии, составленная в ICPE-Бухарест и примененная в моделировании сетей для газовых проводов.

УДК 656.22: 621.3.011.3

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ИНДУКТОР
Тудораке, К.: **Железнодорожные индукторы для автостопных установок INDUSI-I-60. имея катушку с пластинчатым сердечником.**
Е.Е.А.—**Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 112

Работа представляет результаты исследований коллектива работающего в рамках Центра Физики и Техники — Яссы, относительно изготовления катушек с феритовым сердечником железнодорожных индукторов с катушками с сердечником из магнитного металлического национального материала.

УДК 621.316.17: 621.316.35

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАГРЕВА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ШИНЫ ДЛЯ НАГРЕВА
Крецу, Е. В.: **Электрическая установка для нагрева болтов головки блока цилиндров судовых дизельных двигателей производства и I.C.M. Решица.**
Е.Е.А. — **Electrotehnica 36**, № 3, апрель 1988 г., стр. 117

В работе представлена Электрическая установка для нагрева болтов головки блока цилиндров судовых дизельных двигателей производства I.C.M. Решица; модель установки получила аттестат в институте I.N.M.T. г. Бухарест. Перечисляются функции которых установка должна обеспечить, затем представляются состав, способ работы аппарата, а также основные задачи решены в ходе разработки электрических шин для нагрева.

Установку могут использовать и для других подобных целей (на пример: подтяжка болтов турбоагрегатов, подтяжка болтов шатунов судовых дизельных двигателей и т.д.).

INHALT

DK 621.384.52 :661.94

OZON
ANWENDUNGEN
OZONGENERATOR
Cramariuc, R. u.a. : **Industrielles Ozon.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 95

Es handelt sich um eine kurzgefasste Darstellung der industriellen Ozonanwendungen und dessen Erzeugungsmechanismus, der allgemeinen Anlageanordnung womit auch die Bauvarianten der Ozongeneratoren hergestellt werden, einschliesslich deren die in Variante I. Generation bei ICPE aufgebaut wurden. Es werden manche Hauptcharakteristiken für die Hochleistunfen des Ozongenerators besprochen und einige wichtige Kennlinien der ICPE—Generatoren, angegeben.

DK 681.142 : 621.316.05

DIFFERENTIALGLEICHUNGEN
SELBSTTÄTIGE SYSTEME
ELEKTROTECHNICA
Colosi, T., Darie, S., Danca, M. : **Örtlich-iterative Linearisierung der Lösung von Differentialgleichungen mit Anwendung in der Theorie selbsttätiger Systeme und Electrotechnik.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 100

Das Werk umfasst ein paar Syntheseergebnisse der Beziehungen [1], [2], ... [9]. Es werden die wichtigsten theoretischen und anwendungsmässigen Gesichtspunkte des numerischen Verfahrens zur örtlich-iterativen, Linearisierung der Lösung von ordentlichen Differentialgleichungen, hervorgehoben.

DK 534.837
SINUSFÖRMIGER VORGANG
RAUSCH
Toma,L. : **Verminderung der Bewertungsfehler der Sinusoidfrequenzen durch Vergrösserung des Probeschrittes und Anwendung der Vorausmeldungen.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 108
Es wird theoretisch und erfahrungsmässig bewiesen, dass für einen aus Rauschsinusoiden gebildeten Vorgang, die Vergrösserung des Probeschrittes über die durch den Probesatz vorgeschriebene Grenze und Verwendung der Vorausmeldungen für die Beseitigung anderer Fehler, zur Verminderung der Bewertungsfehler der Sinusoid-frequenzen führen.

DK 621.316.1 : 537.313
ELEKTRISCHE NETZE
KIRCHHOFFSCHE GESETZE
Alecu-Călușiță, M. : **Kirchhoffsche Gesetze für elektrische Netze mit langen elektrischen Leitungen.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 110
Das Werk beschreibt ein Rechenprogramm für elektrische Netze mit langen Leitungen, hergestellt bei ICPE—Bukarest und verwendet zur Gestalltung der Gasröhrenleitungsnetze.

DK 656.22 : 621.3.011.3
EISENBAHNTRANSPORT (SCHIENENVERKEHR)
WEGINDUKTOREN
Tudorache, C. : **Wehginduktoren für Autostop-Anlagen INDUS—I—60 mit Blechkernspule.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 112
Es werden die Untersuchungsergebnisse eines Kollektivs des Physik — und Technik Zentrums—Iași, bezüglich Herstellung der Ferritkernspulen von Weginduktoren mit Spulen deren Kern aus einheimischen metallischen magnetischen Stoffen ist, dargestellt.

DK 621.316.17 : 621.316.35
ELECTRISCHE HEIZANLAGE
ELECTRISCHE HEIZSANGEN
Crețu, E. V. : **Electrische anlage zur aufheizung der zylinderkopfschrauben für schiffsdieselmotoren die von I.C.M. Reșița hergestellt werden.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 3, April 1988, S. 117
In vorliegendem Bericht wird die elektrische Anlage zur Heizung der Zylinderkopfschrauben für Schiffsdieselmotoren, die von I.C.M. Reșița hergestellt. Anlage die als Prototype bei I.N.M.T. București homologiert wurde. Der Bericht gibt die Funktionen an, die Anlage erfüllen muß, die Zusammensetzung, Funktionsweise und die erledigten Probleme bei Herstellung der Heizstangen.
Die Anlage kann auch andere ähnliche Amvendungen finden (Anziehen der Schrauben der Turboaggregate, Anziehen der Schrauben der Pleuelstange für Peegehende Dieselmotoren ...).

CONTENTS

DC 621.384.52 : 661.94
OZONE
APPLICATIONS
OZONE GENERATOR
Cramariuc, R. a.s.o. : **Industrial Ozone.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 3, April 1988, p. 95
Briefly, the ozone industrial applications and its generation mechanism, the general diagram of the installation in which it is generated and the constructive versions of the ozone generators, including those designed in the version I—i, realized in ICPE, are presented. Some important characteristics for the ozone generator are analyzed and some characteristics of the ICPE generators are given.

DC 681.142 : 621.316.05
DIFFERENTIAL EQUATIONS
AUTOMATED SYSTEMS
ELECTRICAL ENGINEERING
Colosi, T., Darie, S., Danca, M. : **Local-Iteration Linearization of the Differential Equation Solution, with Applications in Automated Systems and Electrical Engineering.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 3, April, 1988, p. 100
In the present work some synthesis results from references [1], [2] ... [9] are presented, emphasis being laid on some significant theoretical and practical aspects of the local-iterative linearization numerical procedure of the orderly differential equation solution.

DC 534.847
SINUSOIDAL PROCEDURE
NOISE
Toma, L. : **Error Reduction in Assessing the Sine Curve Frequencies by Increasing the Sampling Step and by Using Apriori Information.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 3, April 1988, p. 108
In the present work it is demonstrated theoretically and experimentally that, in case of a process including noise sine curves, by increasing the sampling step over the limit imposed by the sampling theory and by using apriori information for eliminating „error-alias", ew can come to error reduction in assessing the sine curve frequencies.

DC 621.316.1. : 537.313
ELECTRICAL NETWORKS
KIRCHOFF LAWS
Alecu-Călușița, M. : **Kirchoff Laws for Electrical Networks with Long Electrical Lines.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 3, April 1988, p. 110
In the present work a computing program for long line electrical networks, developed in ICPE-Bucharest and applied to gas pipe network modelling, is presented.

DC 656. 22 : 621.3.011.3
RAILWAY TRANSPORTS
REEGULATING INDUCTORS
Tudorache, C. : **Track Inductors for Autostop Installations INDUSI—I—60 with Laminated Core Coils.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 3, April 1988, p. 112
In the present work, the research results of a group from the „Centre for Physics and Technology" — Iași, concerning

the manufacturing of ferrite core coils of track inductors with coils realized with indigenous metallic magnetic materials, are presented.

DC 621.316.17 :621.35
HEATING ELECTRICAL SYSTEM
HEATING ELECTRICAL BARS
Creţu, E.V. : **Heating electrical equipment for cylinder head screws of diesel marine engines made by I.C.M. Reşiţa.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, No. 1, April 1988, p. 117

This paper presents the electrical equipment for heating the cylinder head screws of the diesel marine engines made by I.C.M. Reşiţa. This equipment was approved under a prototype phase by I.N.M.T. Bucureşti. The paper enumerates the functions of the eqiupment and then showing the component, the mechanism runs, as far as solved problems connected to the working out of the heating bars.

This equipment can be also used for other similar utilisations (ex : tighten the turbomechanism screws, tighten the connecting red screws for diesel marine engines, etc.).

S O M M A I R E

CD 621.384.52 : 661.94
OZONE
APPLICATIONS
GENERATEUR D'OZONE
Cramariuc, R. et au. : **Ozone industriel.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 95

On y présente brièvement les applications industrielles de l'ozone et le mécanisme de génération de celui-ci, le schéma général de l'installation où il est généré et les variantes constructives des générateurs d'ozone, y compris les variantes des générateurs d'ozone de la Ière génération, réalisés en ICPE. On interprète certaines caractéristiques importantes pour les performances du générateur d'ozone et l'on y donne quelques caractéristiques des générateurs ICPE.

CD 681.142 : 621.316.05
EQUATIONS DIFFÉRENTIELLES
SYSTÈMES AUTOMATIQUES
ÉLECTROTECHNIQUE
Coloşi, T., Darie, S., Danca, H.: **Linéarisation locale-itérative de la solution des équations différentielles, à applications dans la théorie des systèmes automatiques et dans l'électrotechnique.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 100

Le travail inclut quelques résultats de synthèse des [1], [2]... [9] soulignant certains aspects significatifs, théoriques et applicatifs du procédé numérique de linéarisation locale-itérative de la solution des équations différentielles ordinaires

---

CD 534—837
PROCESSUS SINUSOÏDAL
BRUIT
Toma, L. : **Réduction des erreurs d'estimations des fréquence des sinusoïdes par l'accroissement de l'intervalle d'échantillonnage et l'emploi des informations apriori.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 108

Dans l'article on démontre théoriquement et expérimentalement que, pour un processus comportant des sinusoïdes de bruit, l'accroissement de l'intervalle d'échantillonnage au-delà de la limite imposée par le théorème de l'échantillonnage et l'utilisation des informations apriori afin d'éliminer les „erreurs-alias" mènent à la réduction des erreurs d'estimation des fréquences des sinusoïdes.

CD 621.316.1 : 537.313
RÉSEAUX ÉLECTRIQUES
LOIS DE KIRCHOFF
Alecu-Căluşiţă, M. et au. : **Lois de Kirchoff pour les réseaux électriques à lignes électriques longues.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 110

Le travail décrit un programme de calcul pour les réseaux électriques à lignes électriques longues, élaboré à ICPE — Bucarest et appliqué à la modélisation des réseaux de conduites de gaz.

CD 656—22 : 621.3.011.3
TRANSPORTS FERROVIAIRES
INDUCTEURS DE VOIE
Tudorache, C. : **Inducteurs de voie pour les installations d'auto-arrêt INDUSI — I — 60 ayant la bobine à noyau en tôles.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 112

Le travail présente les résultats de la recherche d'un collectif du Centre de Physique et de Technique-Iaşi concernant la fabrication des bobines à noyaux en ferrite des inducteurs de voie à bobines à noyaux en matériaux magnétiques métalliques.

CD 621.316.16 : 621.316.35
INSTALLATION ÉLECTRIQUE DE CHAUFFAGE
BARRES ÉLECTRIQUES DE CHAUFFAGE
Creţu, E. V. : **Installation électrique pour le chauffage des vis de la culasse des moteurs maritimes diesel fabriques à I.C.M. Reşiţa.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 3, avril 1988, p. 117

On y présente une installation electrique pour le chauffage des vis de la culasse des moteurs maritimes diesel fabrique à I.C.M. Reşiţa, installation qui a été omologueé en phase de prototype à I.N.M.T. Bucureşti. On présente les fonctions que cette installation doit accomplir et ensuite la composition de l'appareil de même que les problèmes pour l'equels on a trouvé une solution dans la réalisation des barres de chauffage.

L'installation peut avoir aussi d'autres utilisations similaires (ex. : le serrage des vis des turboagregats, le serrage des vis de bielle pour les moteurs diesel maritimes, etc.).

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 3

CZ 621.384.52 :661.94

OZON
APLICAŢII
GENERATOR DE OZON

Ozon industrial

RADU CRAMARIUC, GUNTER GLANZ, GABRIEL VELICU, ION VELISAR* – BUCUREŞTI

Introducere

Ozonul se foloseşte în prezent în multe domenii [1], dintre care cele mai importante sînt expuse mai jos.

- Chimia organică, pentru oxidarea acizilor graşi, decolorarea uleiurilor şi a plastifianţilor, fabricarea substanţelor aromatice.
- Farmacologie, pentru fabricarea vitaminelor şi a hormonilor.
- Industria celulozei, textilă şi ceramică, pentru înălbirea pastei, a fibrelor şi a caolinului.
- Industria alimentară, pentru sterilizări şi conservări. Se mai foloseşte pentru eliminarea mirosului ca, de exemplu, la purificarea aerului la marile complexe avicole.

Aplicaţia cea mai importantă rămîne totuşi tratarea apei potabile şi a apelor uzate, menajere sau industriale. În procesul de tratare a apei potabile [2,3] se pot obţine următoarele efecte : ameliorarea gustului, culorii şi a mirosului, dezinfectarea şi inactivarea virusilor, creşterea conţinutului de oxigen, floculare, eliminarea fierului şi a manganului, eliminarea substanţelor organice, a pesticidelor, ierbicidelor şi detergenţilor.

Un efect deosebit se obţine prin înlocuirea dozelor mari de clor, substanţă clasică în tratarea apei potabile, substanţă care, împreună cu hidrocarburile, formează combinaţii considerate a fi cancerigene.

Majoritatea substanţelor din apele reziduale sînt de origine organică, care se elimină prin oxidare. În acest sens ozonul se pretează deosebit de bine la asemenea procese, întrucît este un oxidant puternic [4].

Acţiunea în apă a ozonului depinde de pH. Într-un mediu alcalin, ozonul se descompune catalic cu formarea de diferiţi radicali dintre care OH este cel mai activ. În mediu acid molecula de ozon persistă suficient de mult pentru a acţiona în direcţia purificării.

Ozonul se pretează şi la eliminarea cianurilor care rezultă din procesele de galvanizare, la flotaţii de minereuri, cocserii etc.

1. Metode de preparare a ozonului

Ozonul se obţine din reacţii chimice sau prin metode fizice. Industrial se obţine prin descărcare electrică de tip „corona" în aer sau oxigen. Reacţia chimică este endotermă [5, 6] :

$$3\,O_2 \rightleftarrows 2\,O_3 + 288{,}42\ \text{kJ}, \tag{1}$$

$$\Delta H = 3\,004{,}37\ \text{J/g} = 34{,}50\ \text{kcal/mol} = 0{,}834\ \text{Wh/g}.$$

Ozonul se descompune parţial spontan la temperatura camerei, iar la 274°C, sau în prezenţa unui catalizator, descompunerea este totală.

În timpul descărcării în aer ozonul se produce alături de o serie de alte specii chimice, ionizate sau neutre, a căror abundenţă depinde de condiţiile în care are loc descărcarea (presiune, umiditate), condiţii ce pot influenţa esenţial randamentul cu care se produce ozonul.

Prin aceste reacţii o mare parte a energiei consumate în procesul de descărcare nu se foloseşte pentru producerea ozonului. Din datele experimentale privind consumul de energie pentru producerea unui gram de ozon rezultă că, procentual, reacţiilor pentru producerea ozonului le revin 5÷6 procente din energie.

Mecanismul principal care stă la baza apariţiei ozonului în timpul descărcării electrice se socoteşte [7] a fi ;

$$O + e \rightarrow 2\,O + e, \tag{2}$$

$$M + O + O_2 \rightarrow O_3 + M.$$

* Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pt. Electrotehnică-Bucureşti.

Importantă este deci existența atomului de oxigen și a moleculei M care poate fi N_2, O_2 sau o moleculă din pereții incintei în care are loc descărcarea (e reprezintă un electron).

Are loc și reacția inversă:

$$O_3 + O \rightarrow 2\,O_2, \qquad (3)$$

$$O_3 + e \rightarrow O + O_2 + e.$$

Se presupune că, în timpul descărcării molecula de oxigen trece în stare excitată $B^3\Sigma\bar{u}$ și apoi prin ciocnire cu un electron se descompune în doi atomi de oxigen (8):

$$O_2 + e \rightarrow O(^1D) + O(^3P) + e. \qquad (4)$$

Oxigenul în stare fundamentală $O(^3P)$ participă al formarea ozonului:

$$O_2 + O_2 + O(^3P) \rightarrow O_3 + O_2. \qquad (5)$$

Au fost propuse și alte mecanisme [9], asupra cărora nu se insistă în această lucrare.

2. Instalații pentru prepararea ozonului

Instalațiile pentru producerea pe cale industrială a ozonului se compun din agregatele care rezultă din schema figurii 1.

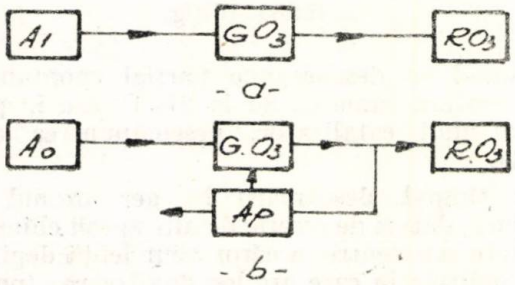


Fig. 1. Schema-bloc a instalației pentru producerea ozonului: a — varianta cu aer; b — varianta cu O_2 și recuperarea oxigenului nereacționat.

În varianta „a", instalația cuprinde agregatul de preparare a aerului A_1, agregatul de ozon GO_3 și agregatul RO_3, în care se produce reacția dintre ozon și apă.

În varianta „b" instalația cuprinde agregatul pentru prepararea oxigenului A_o, agregatul de ozon GO_3, agregatul RO_3 și un agregat A_p pentru recuperarea oxigenului nereacționat.

În ambele variante agregatul de ozon se compune din generatorul de ozon și sursa de înaltă tensiune. La sfîrșitul lanțului se folosește, în cele mai multe cazuri, un agregat pentru recuperarea sau distrugerea ozonului nereacționat în RO_3.

Varianta „a" reprezintă soluția tehnică cea mai des folosită pentru tratarea apei potabile și a apei uzate.

În figura 2 este reprezentată o schemă mai amănunțită a variantei „a".

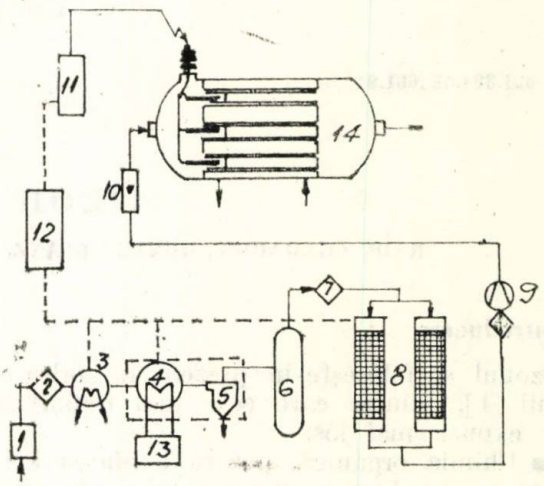


Fig. 2. Schema de principiu a instalației pentru producerea ozonului.

Instalația se compune din:

1 — compresor de aer;
2 — filtru mecanic;
3, 4 — schimbătoare de căldură;
5 — separator al condensului;
6 — recipient de aer;
7 — filtru cu cărbune activ;
8 — uscător prin adsorbție;
9 — reductor de presiune cu filtru;
10 — debitmetru;
11 — sursă de înaltă tensiune;
12 — dulap de comandă;
13 — agregat frigorific.

Nu se vor face referiri la prepararea aerului. Acesta se obține în instalații industriale, amintind doar că aerul care trece prin generatorul de ozon trebuie să fie foarte bine filtrat și uscat. Gradul de uscare al acestuia (punct de rouă — 40—50°C) este un parametru important pentru funcționarea generatorului de ozon.

În cele ce urmează, se vor face referiri la generatorul de ozon.

Sursa de înaltă tensiune și schema de automatizare vor fi prezentate într-o altă lucrare.

3. Generatorul de ozon

În funcție de modul de așezare în generator a tuburilor sau a celulelor în care se produce descărcarea electrică, producătoare de ozon, există următoarele tipuri de generatoare în exploatare [5].

Generatorul de ozon cu tuburi orizontale. Se compune dintr-un recipient, de obicei din oțel inoxidabil, în care tuburile de descărcare sînt așezate într-o anumită ordine pe

orizontală, asigurîndu-se etanșeitatea față de apa de răcire din recipient.

Printr-unul din capacele recipientului intră aerul, iar prin celălalt se colectează amestecul ozon-aer. Cînd devine necesară răcirea electrozilor de înaltă tensiune din tuburile de descărcare, generatorul de ozon se compartimentează [10], așa cum rezultă din figura 3. Conectarea la înaltă tensiune a tuburilor de descărcare se realizează cu un izolator fixat pe capacul de intrare a aerului. Tuburile de descărcare sînt conectate în paralel.

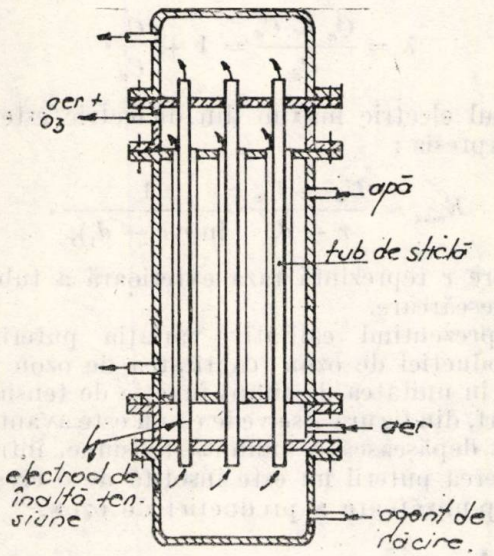


Fig. 3. Schema generatorului de ozon cu tuburi orizontale răcirea electrozilor de înaltă tensiune.

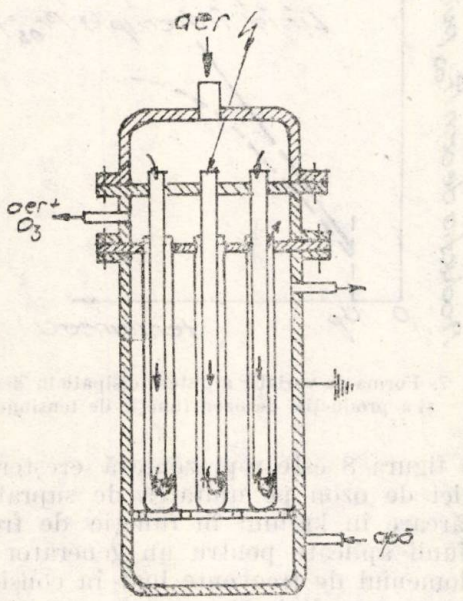


Fig. 4. Schema generatorului de ozon cu tuburi verticale.

Generatoarele de ozon de acest tip cuprind pînă la 500 de tuburi de descărcare, putînd produce pînă la 7,5 kg de ozon pe oră.

Schema generatorului de ozon cu tuburile de descărcare montate în poziție verticală este prezentată în figura 4. Aerul trece prin tubul de sticlă central, metalizat în interior, iar amestecul aer-ozon se evacuează prin tubul de oțel inoxidabil exterior. Inalta tensiune se aplică pe stratul metalizat.

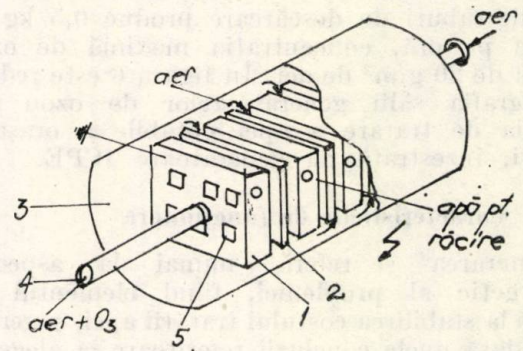


Fig. 5. Schema generatorului de ozon cu geometrie plană cu celule verticale.

Schema generatorului de ozon cu geometrie plană [11, 12, 13] cu celule de descărcare așezate în poziție verticală este prezentată în figura 5, cuprinzînd următoarele elemente:

1 — sertar răcit;
2 — placă de sticlă cu electrod de înaltă tensiune;
3 — recipient;
4 — țeavă colectoare pentru amestecul aer-ozon;
5 — adîncituri de neuniformitate.

Celulele de descărcare sînt montate într-un recipient, în așa fel ca aerul să pătrundă între sertarele răcite cu apă și plăcile de sticlă plane, spațiu în care se produce descărcarea electrică.

Producția de ozon a acestor generatoare poate ajunge pînă la 3,5 kg de ozon pe oră.

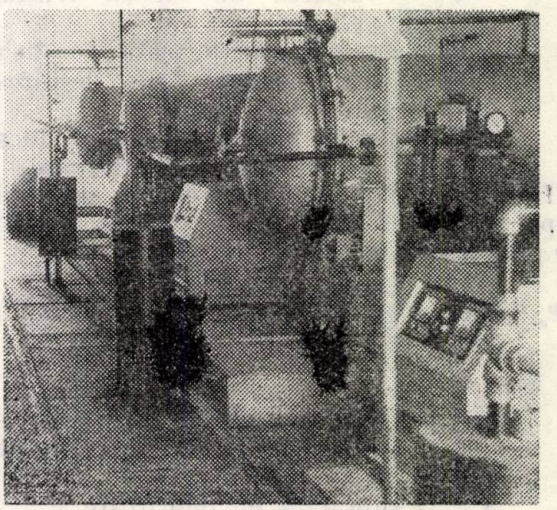


Fig. 6. Sala generatoarelor de ozon dintr-o stație de tratare a apei.

Tensiunea de alimentare a generatoarelor descrise variază între 10—15 kV, iar frecvența între 50—600 Hz.

Prototipurile generatoarelor de ozon din generația I-i, realizate în ICPE, care se produc industrial la IPE-Bistrița au tuburile de descărcare așezate pe orizontală. La tensiunea de 15 kV și frecvența de 400 Hz, cele 86 de tuburi de descărcare produc 0,5 kg de ozon pe oră, concentrația maximă de ozon fiind de 20 g/m³ de aer. În figura 6 este redată fotografia sălii generatoarelor de ozon din stația de tratare a apei potabile a orașului Huși, înzestrată cu generatoare ICPE.

4. Caracteristicile de funcționare

Lucrarea se referă numai la aspectul energetic al problemei, fiind elementul de bază la stabilirea costului tratării apei, sugerînd totodată unele concluzii referitoare la alegerea soluției tehnice.

Concentrația de ozon, în g/m³ de aer, se exprimă în funcție de puterea disipată în descărcare P_{de} în W și debitul de aer D_a în m³/h cu expresia :

$$C_{O_3} = k_1(1-e^{-k_2 P_{de}/D_a}). \qquad (6).$$

Constantele k_1, k_2 depind de temperatură [14]. Creșterea temperaturii aerului duce la creș, terea ratei de descompunere a ozonului și deci, la scăderea concentrației.

Puterea se exprimă prin relația :

$$P_{de} = 4\nu_f U_p ((U_o - U_p)C_d - U_p C_a)), \qquad (7)$$

în care : ν_f reprezintă frecvența tensiunii aplicate ;

U_p — tensiunea de prag la care apare descărcarea ;

U_0 — valoarea de vîrf a tensiunii aplicate ;

C_d — capacitatea formată cu dielectricul tuburilor de descărcare cilindrice ;

C_a — capacitatea intervalului de aer din tuburile de descărcare.

Din (7) se obține, prin introducerea expresiilor capacităților cilindrice C_d și C_a și a tensiunii de prag a descărcării U_p, relația :

$$P_{de} = k_1 \nu_f \rho_r S d\left(\frac{U_0 \varepsilon r}{d_1} - k_2\left(\frac{\varepsilon_0 d}{d_1} + 1\right)\right), \qquad (8)$$

în care :

ρ_r este densitatea aerului, corectată pentru presiunea de lucru, la condițiile NTP ;

S — suprafața de descărcare ;

d — grosimea intervalului de aer a tubului de descărcare ;

d_1 — grosimea dielectricului ;

ε_r — permitivitatea relativă a dielectricului ;

ε_0 — permitivitatea vidului.

Se observă că puterea crește proporțional cu frecvența, suprafața de descărcare și tensiunea de vîrf. Creșterea grosimii dielectricului duce la scăderea puterii disipate. Mărimile d și ρ_r intră, după rezolvare, în formula la pătrat. Pentru a obține un maxim în funcție de d, raportul U_0/U_p trebuie să fie egal cu $1 + \lambda$, iar maximul pentru ρ_r se obține dacă $U_0/U_p = 2\lambda$ (14), unde :

$$\lambda = \frac{C_a + C_d}{C_d} = 1 + \frac{C_a}{C_d}. \qquad (9)$$

Cîmpul electric maxim din dielectric este dat de expresia :

$$E_{max.} = \frac{U_0 - U_p}{r - d_1} \cdot \frac{1}{\ln(r/r - d_1)}, \qquad (10)$$

în care r reprezintă raza exterioară a tubului de descărcare.

Reprezentînd calitativ variația puterii și a producției de ozon (cantitatea de ozon produsă în unitatea de timp) funcție de tensiunea de vîrf, din figura 7 se vede că nu este avantajos să se depășească o anumită tensiune, întrucît creșterea puterii nu este însoțită de o creștere corespunzătoare a producției de ozon.

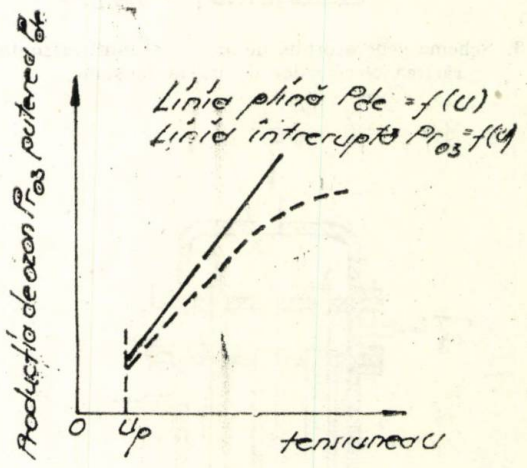


Fig. 7. Forma de variație a puterii disipate în descărcare și a producției de ozon funcție de tensiune.

În figura 8 este reprezentată creșterea producției de ozon pe unitatea de suprafață de descărcare în kg/hm² în funcție de frecvența tensiunii aplicate pentru un generator ICPE. În domeniul de frecvențe luat în considerație, creșterea este liniară.

Figura 9 reprezintă variația producției de ozon pe unitate de suprafață de descărcare, în kg/hm², în funcție de tensiunea aplicată, iar în figura 10 este reprodusă variația concentrației de ozon, în g/m³, în funcție de tensiune

la două frecvențe, pentru generatoarele ICPE din generația I-i.

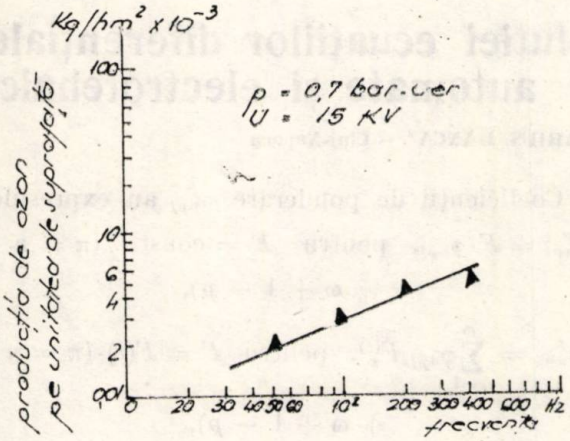


Fig. 8. Variația producției de ozon funcție de frecvență.

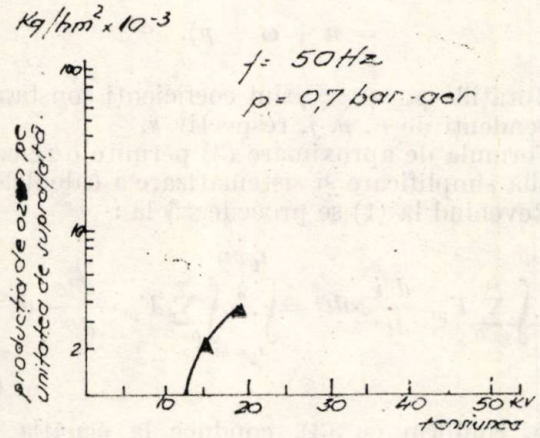


Fig. 9. Variația producției de ozon funcție de tensiune.

5. Concluzii

Din cele arătate rezultă modul în care influențează caracteristicile constructive, condițiile de alimentare electrică și densitatea aerului, puterea absorbită, precum și cîmpul electric maxim din dielectric.

Micșorarea grosimii dielectricului duce la creșterea puterii, dar mărește implicit cîmpul maxim și, prin aceasta, probabilitatea de străpungere la tensiunea dată.

Creșterea spațiului de descărcare și densitatea aerului dau maxime pentru anumite valori ale raportului U_0/U_p.

Creșterea densității aerului este limitată de rezistența mecanică a tuburilor de sticlă.

Creșterea tensiunii de vîrf este limitată pentru o anumită grosime a dielectricului de cîmpul maxim admis.

Variația permitivității dielectricului este limitată de proprietățile de material.

Teoretic, frecvența este parametrul cel mai la îndemînă pentru creșterea puterii disipate

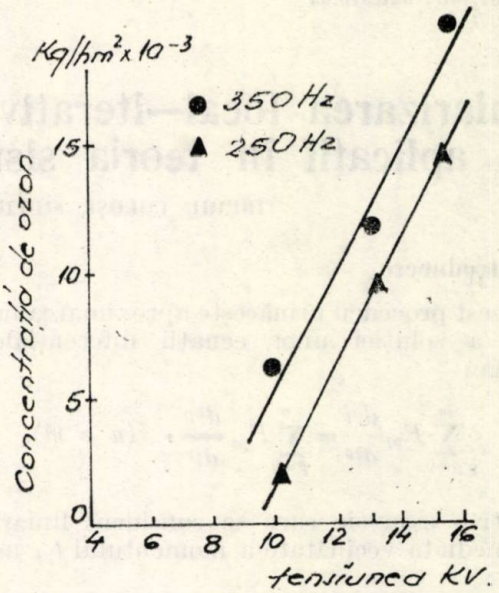


Fig. 10. Variația concentrației de ozon funcție de tensiune.

și implicit a producției de ozon, fiind limitată numai de performanțele sursei de înaltă tensiune.

Cu cît temperatura și umiditatea aerului sînt mai scăzute, cu atît producția de ozon pentru aceeași putere este mai mare.

Bibliografie

[1] *Gaia, F., Menth,* A. Nouveaux générateurs d'ozon de grande puissance et leur applications dans l'industrie. Rev. Brown Boveri, nr. 10/11, 1981, p. 411—415.

[2] *Tefaute, K., Erni, P. E.* Générateur d'ozon pour une eau potable saine. Rev. Brown Boveri nr. 6, 1980, p. 368—373.

[3] *Majumdar, S. B.,* Sproul, *O. J.* Technical and economic aspects of water and wastwater ozonation : a critical review. Water Research, **vol. 8**, 1974, p. 253—260.

[4] *Sandman, H.* Epuration des eaux usées avec des procédés modernes. Rev. Brown Boveri nr. 3, 1977, p. 158—163.

[5] *Diaper, E. W. J.* Ozone-practical aspects of its generation and use. Chemtech. nr. 6, 1972, p. 368—375.

[6] *Beral, E., Zapan, M.* Chimie organică. București, Ed. Tehnică 1977, p. 680.

[7] *Izeki, N., Natsumi, F.* Large scale ozone generator for water treatment. UDC, **vol. 16**, nr. 3, 1964, p. 29—35.

[8] *Koroleva,* E. Koeffițient dezactivații metastabilnih atomov O(^{1}D). Optica i spektroskopia, **vol. 35**, nr. 1, 1973, p. 19—21.

[9] *Franklin, J.L.* Chemical reactions in electrical discharges. Advances in chemistry series nr. 80, 1969, p. 48—56.

[10] *Francis, P. D., Redford, A., Gale, Ph. F., Hillis, M. R.* Perfectionnements aux ozoniseurs. Patent francez nr. 73, 10233, cl. int. CO1b 13/12, 1973.

[11] *Galliker, J.* Einrichtung zur Erzeugung von Ozon. Patent RFG, nr. 2223920, cl. int. CO1b 13/12, 1972.

[12] *Avlasovici, IU. P., Kuperman, L. M.* Plastinciatli ozonator. Patent URSS nr. 426448, cl. int. CO1b 13/12, 1974.

[13] *Crooks, G. V.* Ozon generating means. Patent SUA nr. 3838290, cl. int. CO1b 13/12, 1974.

[14] *Faes, Y.* Ozoneurs : leur théorie et aplication, des techniques nouvelles a semi-conducteurs à leur alimentaion. Rev. géneral d'électricité. **vol. 84**, nr. 1, 1975, p. 13—23.

CZ 681.142 : 621.316.05

ECUAȚII DIFERENȚIALE
SISTEME AUTOMATE
ELECTROTEHNICĂ

Liniarizarea local—iterativă a soluției ecuațiilor diferențiale, cu aplicații în teoria sistemelor automate și electrotehnică

TIBERIU COLOȘI, SILVIU DARIE, MARIUS DANCA* — Cluj-Napoca

Introducere

Acest procedeu urmărește aproximarea numerică a soluției unor ecuații diferențiale de forma :

$$\sum_{p=0}^{m} F_{pi} \frac{d^p i}{dt^p} = \sum_{p=0}^{n} F_{pe} \frac{d^p e}{dt^p}, \quad (n \geqslant m), \qquad (1)$$

printr-o expresie care se consideră liniarizată în imediata vecinătate a momentului t_k, notată prin :

$$e_k = g_k \,.\, i_k + h_k. \qquad (2)$$

Ecuația (1) se consideră pentru condiții inițiale cunoscute ale semnalului de intrare $i = i(t)$ și semnalului de ieșire $e = e(t)$. Coeficienții $F = F(i,e,t)$ sînt funcții analitice continue cunoscute, care pot fi explicitate și în raport cu timpul t.

Coeficienților g_k și h_k li se atribuie denumirile de „coeficient de transfer în momentul t_k" (fiind o constantă numai în cazul elementelor liniare, invariante în timp), respectiv „răspunsul liber în momentul t_k" (dependent de i, e și t la secvențe anterioare lui t_k, notate cu $t_{k-j} = t_k - j\ \Delta t$, pentru Δt suficient de mic, iar $j = 1,2, \ldots \omega$, unde ω este ultima secvență regresivă). Prin termenul $g_k \,.\, i_k$ se poate interpreta „răspunsul forțat" în momentul t_k.

1. Principiul liniarizării local-iterative

Forma liniarizată (2) se obține integrînd (1) repetat de n ori în raport cu timpul, în intervalul $\Delta t = 2.\ \delta t$, în jurul pivotului t_k, pe baza formulei :

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \cdots \int F \cdot v^{(p)} \cdot dt^n = \Delta t^{n-p} \cdot \sum_{j=0}^{\omega} \sigma_{npj}^{F} \cdot v_{k-j} + \rho_{npj}^{F}(\Delta t^{\pi}), \qquad (3)$$

unde : $v^{(p)} = \dfrac{d^p v}{dt^p}$, iar $\rho_{npj}^{F}(\Delta t^{\pi})$ este eroarea de aproximare, dependentă de n, p, ω și Δt.

Coeficienții de ponderare σ_{npj}^{F} au expresiile :

$\sigma_{npj}^{F} = F \cdot \varphi_{npj}$, pentru $F = \text{const.}$ $(\pi = n + \omega + 1 - p)$,

$\sigma_{npj}^{F} = \sum_{s=1}^{\omega} \varphi_{npjs} F_k^{(s)}$, pentru $F = F(t) \cdot (\pi = n + \omega + 1 - p)$,

$\sigma_{npj}^{F} = \sum_{s=1}^{\omega} \varphi_{npjs} F_{k-s}$, pentru $F = F(i,e,t) \cdot (\pi = n + \omega - p)$.

Notațiile ϱ_{npj} și ϱ_{npjs} sînt coeficienți constanți, dependenți de n, p, j, respectiv s.

Formula de aproximare (3) permite o remarcabilă simplificare și sistematizare a calculelor.

Revenind la (1) se procedează la :

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \cdots \int \sum_{p=0}^{m} F_{pi} \frac{d^p i}{dt^p} \cdot dt^n = \int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \cdots \int \sum_{p=0}^{m} F_{pe} \cdot \frac{d^p e}{dt^p} \cdot dt^n, \qquad (4)$$

care, conform cu (3), conduce la ecuația cu diferențe finite :

$$\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{p=0}^{m} \Delta t^{n-p} \cdot \sigma_{npj}^{F_{pi}} \cdot i_{k-j} = \sum_{j=0}^{\omega} \sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p} \cdot \sigma_{npj}^{F_{pe}} \cdot e_{k-j}, \qquad (5)$$

din care se poate explicita forma liniarizată (2), unde :

$$g = \frac{\sum_{p=0}^{m} \Delta t^{n-p} \cdot \sigma_{npo}^{F_{pi}}}{\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p} \cdot \sigma_{npo}^{F_{pe}}}, \qquad (6)$$

corespunde cu coeficientul de transfer în momentul t_k, iar :

$$h_k = \frac{\sum_{j=1}^{\omega} \sum_{p=0}^{m} \Delta t^{n-p} \sigma_{npj}^{F_{pi}} \cdot i_{k-j} - \sum_{j=1}^{\omega} \sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p} \sigma_{npj}^{F_{pe}} \cdot e_{k-j}}{\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p} \cdot \sigma_{npo}^{F_{pe}}}, \qquad (7)$$

reprezintă răspunsul liber în momentul t_k.

* Prof. dr. ing. *Colosi, T.* — Facultatea de Electrotehnică din Institutul Politehnic Cluj-Napoca ; conf. dr. ing. *Darie, S.* Facultatea de Electrotehnică din Institutul Politehnic Cluj-Napoca ; mat. ing. *Dànca, M* — Liceul de Matematică-Fizică nr. 1 — Cluj-Napoca.

Formal identic se procedează pentru obținerea formelor liniarizate local-iterative ale soluției ecuațiilor integro-diferențiale sau ale ecuațiilor integrale, cu unele precauții impuse de existența constantelor de integrare.

În continuare se fac referiri asupra convergenței acestui procedeu numeric de liniarizare local-iterativă, tratînd separat problema consistenței și a stabilității numerice.

2. Referiri asupra consistenței numerice

Conform cu [11] p. 16, 18, în ecuația cu diferențe finite (5), considerată pentru $m = n$, se introduc substituțiile (bazate pe seriile Taylor):

$$i_{k-j} = \sum_{p=0}^{\omega} (-1)^p \cdot \frac{(j\Delta t)^p}{p!} \cdot i_k^{(p)} \tag{8}$$

și:

$$e_{k-j} = \sum_{p=0}^{\omega} (-1)^p \cdot \frac{(j\Delta t)^p}{p!} \cdot e_k^{(p)}, \tag{9}$$

rezultînd, după calcule, forma generală:

$$\sum_{j=0}^{\omega} (\alpha_{0j} + \Delta t \cdot \alpha_{1j} + \Delta t^2 \cdot \alpha_{2j} + \dots) =$$

$$= \sum_{j=0}^{\omega} (\beta_{0j} + \Delta t \beta_{1j} + \Delta t^2 \cdot \beta_{2j} \dots), \tag{10}$$

unde:

$$\alpha_{0j} = F_{ni}\sigma_{nnj} \cdot i_k, \tag{11}$$

$$\alpha_{1j} = F_{n-1,i}\sigma_{n,n-1,j} i_k - \frac{j}{1!} F_{ni}\sigma_{nnj} i_k, \tag{12}$$

$$\alpha_{2j} = F_{n-2,j}\sigma_{n,n-2,j} \cdot i_k -$$

$$- \frac{j}{1!} F_{n-1,i} \cdot \sigma_{n,n-1,j} \cdot i_k + \frac{j^2}{2!} F_{ni}\sigma_{nnj} \ddot{i}_k, \tag{13}$$

.....

$$\alpha_{rj} = \sum_{q=0}^{r} \frac{(-j)^q}{q!} \cdot F_{n-r+q,i} \cdot \sigma_{n,n-r+q,j} \cdot i_k^{(q)}, \tag{14}$$

pentru $r = 0,1,2, \dots \omega$.

Coeficienții β_{rj} din (10) prezintă expresii identice cu (11), ... (14), cu deosebirea că indicele i se înlocuiește cu e, iar $i_k^{(q)}$ se înlocuiește cu $e_k^{(q)}$, respectiv:

$$\beta_{rj} = \sum_{q=0}^{r} \frac{(-1)^q}{q!} \cdot F_{n-r+q,e} \cdot \sigma_{n,n-r+q,j} \cdot e_k^{(q)}, \tag{15}$$

pentru $r = 0,1,2, \dots \omega$.

Deoarece forma generală (10) mai poate fi înlocuită cu:

$$\sum_{j=0}^{\omega} [(\alpha_{0j} - \beta_{0j}) + \Delta t \cdot (\alpha_{1j} - \beta_{1j}) + \Delta t^2 (\alpha_{2j} - \beta_{2j}) +$$

$$+ \dots] = 0, \tag{16}$$

atunci, conform cu [11], p. 16, 18, se pot stabili următoarele condiții de consistență:

— pentru consistența de ordinul zero:

$$\sum_{j=0}^{\omega} (\alpha_{0j} - \beta_{0j}) = 0; \tag{17}$$

— pentru consistența de ordinul unu:

$$\sum_{j=0}^{\omega} [(\alpha_{0j} - \beta_{0j}) + \Delta t (\alpha_{1j} - \beta_{1j})] = 0; \tag{18}$$

— pentru consistența de ordinul doi:

$$\sum_{j=0}^{\omega} [(\alpha_{0j} - \beta_{0j}) + \Delta t (\alpha_{1j} - \beta_{1j}) +$$

$$+ \Delta t^2 (\alpha_{2j} - \beta_{2j})] = 0; \tag{19}$$

— pentru consistența de ordinul n:

$$\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{s=0}^{n} [\Delta t^s \cdot (\alpha_{sj} - \beta_{sj})] = 0. \tag{20}$$

Cu această ultimă condiție de consistență, împreună cu (14) și (15), a fost testată ecuația cu diferențe finite (5), pentru $n = 1,2, 3$ și 4, rezultînd întotdeauna respectarea condiției de consistență de ordinul zero, la care se atașează și respectarea unor condiții superioare de consistență.

3. Referiri asupra stabilității numerice

Dacă se aplică transformata z ecuației cu diferențe finite (5), pentru $F_{pi} = \text{const}$ și $F_{pe} = \text{const}$, rezultă:

$$\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{p=0}^{m} \Delta t^{n-p} \cdot F_{pi}\sigma_{npj} \cdot z^{-j} \cdot i_k(z) \cong$$

$$\cong \sum_{j=0}^{\omega} \sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p} \cdot F_{pe} \cdot \sigma_{npj} \cdot z^{-j} \cdot e_k(z), \tag{21}$$

din care se poate obține funcția de transfer în z, considerată la secvența de timp t_k, de forma:

$$H_k(z) = \frac{e_k(z)}{i_k(z)} = \frac{\sum_{j=0}^{\omega}\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p}.F_{pi}\sigma_{npj}.z^{-j}}{\sum_{j=0}^{\omega}\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p}.F_{pe}.\sigma_{npj}.z^{-j}}. \quad (22)$$

Ca urmare, se poate stabili ecuaţia caracteristică în z, la secvenţa de timp t_k, care devine :

$$\sum_{j=0}^{\omega}\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p}.F_{pe}.\sigma_{npj}.z^{-j} = 0, \quad (23)$$

sau multiplicînd cu z^{ω} rezultă :

$$\sum_{j=0}^{\omega}\sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p}.F_{pe}.\sigma_{npj}.z^{\omega-j} = 0. \quad (24)$$

Dacă se notează :

$$\underset{n,\omega,j}{f(\Delta t)} = \sum_{p=0}^{n} \Delta t^{n-p}.F_{pe}.\sigma_{npj}, \quad (25)$$

atunci ecuaţia caracteristică se mai poate scrie :

$$P(z) \equiv \sum_{j=0}^{\omega} f_{n,\omega,j}(\Delta t).z^{\omega-j} = 0, \quad (26)$$

respectiv :

$$f_{n,\omega,0}(\Delta t).z^{\omega} + f_{n,\omega,1}(\Delta t).z^{\omega-1} \ldots + f_{n,\omega,\omega-1}(\Delta t).z + f_{n,\omega,\omega}(\Delta t) = 0. \quad (27)$$

Aşa cum se ştie, condiţia de stabilitate numerică impune ca toate soluţiile ecuaţiei caracteristice (27) să fie plasate în interiorul cercului de rază unitară, iar cele de pe circumferinţă să fie soluţii simple. Cu alte cuvinte, stabilitatea este asigurată dacă :

$$|z_j| \leqslant 1, \ (j = 1,2 \ldots n), \quad (28)$$

unde egalitatea se referă numai la rădăcini simple [12, 13, 14].

În continuare se prezintă o metodă numerică prin intermediul căreia s-a demonstrat că zerourile polinomului caracteristic $P(z)$ sînt situate în interiorul cercului de rază unitară, pentru $\Delta t > 0$. Ca urmare, procedeul L.L.I. (al liniarizării local-iterative) este stabil pentru orice pas de integrare Δt.

Metoda folosită constă în rezolvarea, cu un calculator CORAL, a ecuaţiei caracteristice (27), pentru $\Delta t \in [0, \Delta t_M]$, Δt_M putînd lua orice valoare pozitivă finită.

Utilizatorul poate introduce manual orice valori pentru coeficienţii reali F_{pe}, ($p = 0,1,2,\ldots \ldots, n$; $n \in \{1, 2, 3, 4\}$), care se pot alege şi aleator, într-un interval arbitrar, cu o distribuţie uniformă, apelînd în acest scop o subrutină de randomizare.

Programul elaborat în acest scop permite divizarea intervalului $[0, \Delta t_M]$ în trei subintervale, în fiecare putîndu-se alege paşi de integrare diferiţi. Această facilitate de program permite un studiu mai adecvat pe anumite intervale ale lui Δt.

Datele de intrare ale programului sînt : gradul ecuaţiei caracteristice (n), ultima secvenţă regresivă (ω), intervalul de timp $[0, \Delta t_M)$ în care se rezolvă problema, coeficienţii F_{pe}, iar în cazul randomizării acestora mai este necesar numărul de execuţii M (o execuţie corespunzînd rezolvării ecuaţiei caracteristice pentru un set randomizat al coeficienţilor F_{pe}). Detalii în acest sens sînt expuse în tabelul 1. *Cu* $F(1) = 1, F(2) = 1$ şi $F(3) = 1$ s-a notat un set arbitrar de coeficienţi F_{pe}, pentru o ecuaţie caracteristică de ordinul doi.

Tabelul 1

```
RUN S
Gradul ecuaţiei caracteristice                N=2
Numărul de paşi înapoi                        OMEGA=4
Primul interval de timp investigat            DTMAX1=.2
Al doilea interval de timp investigat         DTMAX2=2.
Al treilea interval de timp investigat        DTMAX3=10.
Primul pas de integrare                       DTI(1)=.001
Al doilea pas de integrare                    DTI(2)=.01
Al treilea pas de integrare                   DTI(3)=.1
Doriţi introducerea manuală a coeficienţilor „F"?
Sau randomizarea lor?
În primul caz tastaţi 1
În al doilea caz tastaţi 2
1
F(1)=1.
F(2)=1.
F(3)=1.
```

Datele de ieşire sînt rădăcinile ecuaţiei caracteristice sub formă tabelară, aşa cum se exemplifică în tabelul 2, unde XR şi XI reprezintă componenta reală, respectiv imaginară, iar $MOD = \sqrt{XR^2 + XI^2}$ este modulul rădăcinilor ecuaţiei caracteristice, pentru ultima secvenţă regresivă $\omega = 4$ şi $n = 2$. Se observă că, pentru $\Delta t > 0$, modulul celor patru rădăcini este strict subunitar.

Datele de ieşire se pot analiza şi grafic utilizînd programul SURF [16], pe baza căruia s-au ridicat curbele : $XR = XR(\Delta t)$, $XI = XI(\Delta t)$, $MOD = MOD(\Delta t)$, $MOD_{MAX} = MOD_{MAX}(\Delta t)$ ş.a.

Astfel, pentru exemplul expus mai sus, în figura 1 se ilustrează curba modulului maxim în raport cu Δt. Se constată existenţa unui minim pentru $\Delta t \cong 18$.

Tabelul 2

NUMAR EXECUTII PROGRAM = 1
GRADUL ECUATIEI CARACTERISTICE N= 2
NUMAR PASI INAPOI OMEGA = 4
F(1)= 1.0000000000
F(2)= 1.0000000000
F(3)= 1.0000000000

DT	XR	XI	MOD	XR	XI	MOD	XR	XI	MOD	XR	XI	MOD
0.0000	0.4427	0.2876	0.5279	0.4427	-0.2876	0.5279	1.0000	0.0000	1.0000	0.9998	0.0000	0.9998
0.0010	0.4428	0.2876	0.5281	0.4428	-0.2876	0.5281	0.9994	0.0008	0.9994	0.9994	-0.0008	0.9994
0.0020	0.4430	0.2877	0.5282			0.5282	0.9989	0.0017	0.9989		0.0017	0.9989
0.0030	0.4431	0.2878					0.9984	0.0025				0.9984
				0.2182	-0.1420					-0.1859	-0.4493	
			0.2577	0.2151	-0.1420	0.2577			0.4872	-0.1884	-0.4493	
9.5000			0.2566	0.2140	-0.1416	0.2566	-0.1912	0.4420	0.4843	-0.1898	-0.4456	0.4816
9.6000	0.2129	0.1413	0.2556	0.2129	-0.1413	0.2556	-0.1912	0.4420	0.4816	-0.1912	-0.4420	0.4816
9.7000	0.2119	0.1409	0.2545	0.2119	-0.1409	0.2545	-0.1926	0.4383	0.4788	-0.1926	-0.4383	0.4788
9.8000	0.2109	0.1406	0.2534	0.2109	-0.1406	0.2534	-0.1939	0.4347	0.4760	-0.1939	-0.4347	0.4760
9.9000	0.2098	0.1403	0.2524	0.2098	-0.1403	0.2524	-0.1952	0.4312	0.4733	-0.1952	-0.4312	0.4733
10.0000	0.2088	0.1399	0.2513	0.2088	-0.1399	0.2513	-0.1964	0.4276	0.4705	-0.1964	-0.4276	0.4705

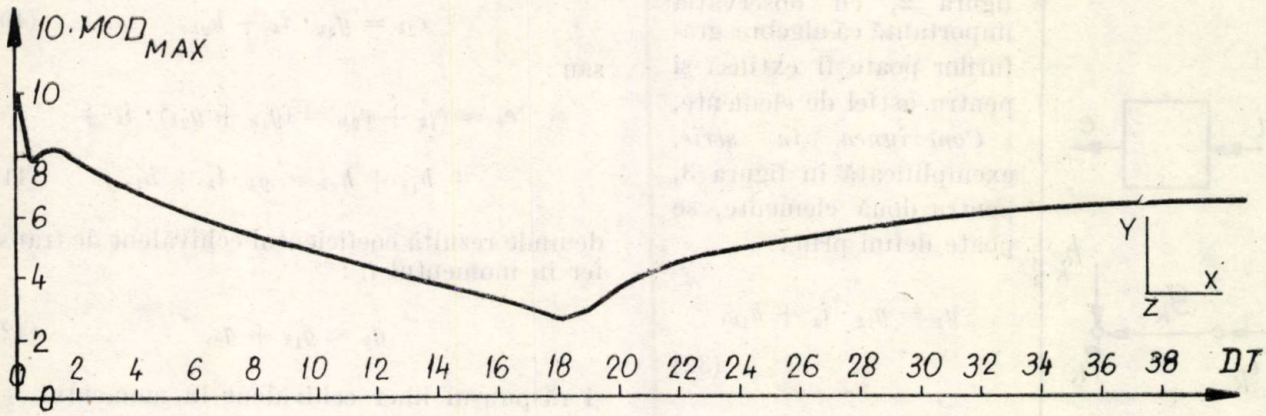


Fig. 1

Această monotonie se poate deduce pentru cazul general şi pe cale analitică. Astfel, ecuaţia caracteristică (24), pentru $\Delta t = 0$, devine :

$$P(z) \equiv \sum_{j=0}^{\omega} \sigma_{nnj} \cdot z^{\omega - j} = 0, \qquad (29)$$

unde $n \in \{1, 2, 3, 4\}$, $\omega \in \{n, n+1, \ldots, n+4\}$. Ecuaţia (29) admite o rădăcină multiplă de modul unitar [17] şi rădăcini de modul subunitar conform testului Jury [18].

Considerînd cealaltă extremă, pentru $\Delta t \to \infty$, în ecuaţia caracteristică (24), după împărţirea la $\sigma_{n00} \neq 0$ se obţine :

$$z^{\omega} + \sum_{j=1}^{\omega-1} \frac{\sigma_{n0j}}{\sigma_{n00}} \cdot z^{\omega - j} = 0, \qquad (30)$$

unde n şi ω prezintă valorile de mai sus. În acest caz, operînd tot cu testul Jury, se constată că toate rădăcinile sînt strict subunitare în modul.

Pentru a studia evoluţia modulului maxim al rădăcinilor ecuaţiei caracteristice, pentru valori Δt cuprinse între 0 şi ∞, s-a luat în considerare marginea superioară a modulelor rădăcinilor [15] :

$$M(\Delta t) = 1 + \max_{1 \leq j \leq \omega} \left\{ \frac{|f_{n,\omega,j}(\Delta t)|}{|f_{n,\omega,0}(\Delta t)|} \right\}, \qquad (31)$$

unde $f_{n,\omega,j}(\Delta t)$, $j = 0, 1, 2, \ldots, \omega$, corespund cu (25). Aceşti coeficienţi sînt funcţii polinomiale de variabilă reală, nenegativă (Δt).

Studiul evoluţiei funcţiei $M(\Delta t)$ de mai sus [17], cît şi observaţiile prezentate, au condus la următoarele concluzii :

a. Pentru $n = 1$, modulul maxim al rădăcinilor scade asimptotic, de la 1, pentru $\Delta t = 0$, la o valoare subunitară, pentru $\Delta t \to \infty$.

b. Pentru $n = 2, 3, 4$, modulul maxim al rădăcinilor scade de la valoarea 1, pentru $\Delta t = 0$, la o valoare minimă, după care creşte asimptotic, către o valoare subunitară pentru $\Delta t \to \infty$.

Pentru numeroase exemple studiate s-a constatat că, pentru valori Δt foarte mari, de ordi-

nul 10^5, monotonia funcției $MOD_{MAX} = MOD_{MAX}(\Delta t)$ este formal identică cu cazurile Δt mult mai mici.

Această analiză a stabilității a fost continuată, în direcția localizării rădăcinilor ecuației caracteristice, în planul complex, rezultînd posibilitatea stabilirii lui Δt, care să asigure anumite performanțe de integrare numerică [12], [16], [17].

Studiul mai poate fi condus și în vederea determinării unei expresii a lui Δt în raport cu coeficienții F_{pe}, pentru a asigura îmbunătățirea stabilității procedeului L.L.I.

4. Algebra conexiunii elementelor prin intermediul coeficienților g_k și h_k

Forma liniarizată (2) poate fi reprezentată pentru momentul t_k prin intermediul grafurilor, așa cum se arată în figura 2, cu observația importantă că algebra grafurilor poate fi extinsă și pentru astfel de elemente.

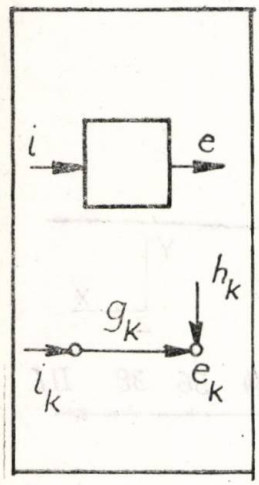


Fig. 2

Conexiunea în serie, exemplificată în figura 3, pentru două elemente, se poate defini prin :

$$u_k = g_{1k} \cdot i_k + h_{1k}, \tag{32}$$

$$e_k = g_{2k} \cdot u_k + h_{2k}, \tag{33}$$

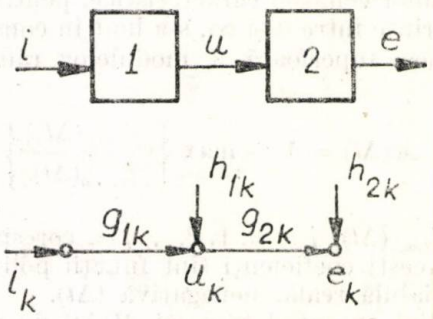


Fig. 3

sau :

$$e_k = g_{2k} \cdot g_{1k} \cdot i_k + g_{2k} \cdot h_{1k} + h_{2k} = g_k \cdot i_k + h_k, \tag{34}$$

de unde rezultă coeficientul echivalent de transfer în momentul t_k :

$$g_k = g_{2k} \cdot g_{1k} \tag{35}$$

și răspunsul liber echivalent în momentul t_k :

$$h_k = g_{2k} \cdot h_{1k} + h_{2k}. \tag{36}$$

Pentru un număr n de astfel de elemente conectate în serie, coeficienții echivalenți devin :

$$g_k = g_{nk} \ldots g_{2k} \cdot g_{1k} \tag{37}$$

și :

$$h_k = g_{nk} \cdot \ldots \cdot g_{2k} \cdot h_{1k} + g_{nk} \cdot \ldots g_{3k} \cdot h_{2k} + \ldots$$

$$\ldots + g_{nk} \cdot h_{n-1,k} + h_{nk}. \tag{38}$$

Conexiunea în paralel, exemplificată în figura 4 pentru două elemente, se poate defini prin :

$$e_{1k} = g_{1k} \cdot i_k + h_{1k}, \tag{39}$$

$$e_{2k} = g_{2k} \cdot i_k + h_{2k}, \tag{40}$$

sau :

$$e_k = e_{1k} + e_{2k} = (g_{1k} + g_{2k}) \cdot i_k +$$

$$+ h_{1k} + h_{2k} = g_k \cdot t_k + h_k, \tag{41}$$

de unde rezultă coeficientul echivalent de transfer în momentul t_k :

$$g_k = g_{1k} + g_{2k} \tag{42}$$

și răspunsul liber echivalent în momentul t_k :

$$h_k = h_{1k} + h_{2k}. \tag{43}$$

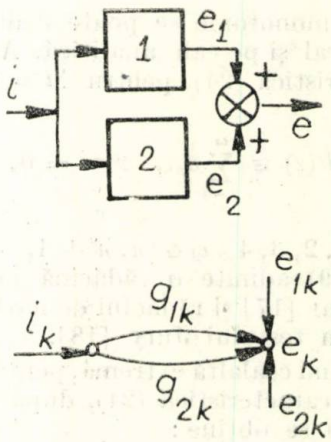


Fig. 4

Pentru un număr n de astfel de elemente conectate în paralel coeficienții echivalenți devin :

$$g_k = g_{1k} + g_{2k} + \ldots + g_{nk}, \tag{44}$$

$$h_k = h_{1k} + h_{2k} + \ldots + h_{nk}. \tag{45}$$

Conexiunea cu reacție, exemplificată în figura 5 pentru două elemente, se poate defini prin :

$$e_k = g_{1k} \cdot a_k + h_{1k}, \tag{46}$$

$$r_k = g_{2k} \cdot e_k + h_{2k}, \tag{47}$$

$$a_k = i_k \pm r_k, \tag{48}$$

din care se obține :

$$e_k = \frac{g_{1k}}{1 \mp g_{1k} \cdot g_{2k}} \cdot i_k + \frac{h_{1k} \pm g_{1k} \cdot h_{2k}}{1 \mp g_{1k} \cdot g_{2k}} =$$

$$= g_{ie,k} \cdot i_k + h_{ie,k}. \tag{49}$$

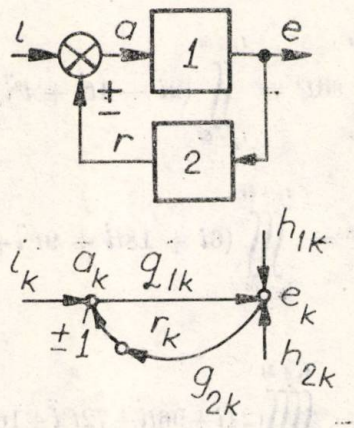


Fig. 5

Rezultă coeficientul echivalent de transfer intrare-ieșire (*ie*), în momentul t_k :

$$g_{ie,k} = \frac{g_{1k}}{1 \mp g_{1k} \cdot g_{2k}} \tag{50}$$

și răspunsul liber echivalent intrare-ieșire (*ie*), în momentul t_k :

$$h_{ie,k} = \frac{h_{1k} \pm g_{1k} \cdot h_{2k}}{1 \mp g_{1k} \cdot g_{2k}}, \tag{51}$$

cu observația că semnul de jos (de la numărător și numitor) corespunde reacției negative, iar semnul de sus corespunde reacției pozitive.

Formal identic se pot calcula r_k, rezultînd $g_{ir,k}$ și $h_{ir,k}$, precum și a_k, rezultînd $g_{ia,k}$ și $h_{ia,k}$.

Se constată că expresiile g_k sînt asemănătoare formal cu expresiile funcțiilor de transfer echivalente pentru conexiunile respective, iar pentru h_k se pot obține legi simple de calcul al formulelor specifice tipurilor de conexiuni.

Pentru elementele multiple, cu m-intrări și n-ieșiri, care se definesc tot prin ecuații diferențiale de forma (1), se poate opera cu expresia vectorial-matricială :

$$\mathbf{e}_k = \mathbf{G}_k \cdot \mathbf{i}_k + \mathbf{H}_k, \tag{52}$$

unde $\mathbf{i}_k(m \times 1)$ și $\mathbf{e}_k(n \times 1)$ sînt vectorii de intrare, respectiv de ieșire, iar $\mathbf{G}_k(n \times m)$ și $\mathbf{H}_k(n \times 1)$ reprezintă matricea coeficienților de transfer, respectiv vectorul răspunsurilor libere, totul fiind considerat în momentul t_k.

Se pot extinde astfel formele matriciale uzuale, de algebră a conexiunilor, pentru sisteme multiple și pentru astfel de procese liniarizate local-iterativ.

5. Extinderea liniarizării local-iterative prin intermediul variabilelor de stare

Dacă un sistem liniar este definit prin intermediul variabilleor de stare, în forma uzuală :

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{i}, \tag{53}$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{i}, \tag{54}$$

atunci aproximarea, liniarizată local-iterativ, prin variabile de stare rezultă particularizînd pe (4) pentru $n = 1$ și $p = 0$ și 1, adică :

$$\int_{t_k - \delta t}^{t_k + \delta t} \dot{\mathbf{x}} \cdot \mathrm{d}t = \int_{t_k - \delta t}^{t_k + \delta t} (\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{i})\mathrm{d}t, \tag{55}$$

din care, conform cu (4), se poate obține ecuația matriceală cu diferențe finite :

$$\sum_{j=0}^{\omega} \sigma_{11j} \mathbf{x}_{k-j} \cong \Delta t \sum_{j=0}^{\omega} (\boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{A}} \cdot \mathbf{x}_{k-j} + \boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{B}} \mathbf{i}_{k-j}), \tag{56}$$

unde σ_{11j} are formă scalară, iar $\boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{A}}$ și $\boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{B}}$ sînt matrice, avînd dimensiunile lui **A**, respectiv **B**.

Din (56) se poate calcula vectorul de stare $\mathbf{x}_k$, liniarizat local-iterativ, respectiv :

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{G}_{xk} \cdot \mathbf{i} + \mathbf{H}_{xk}, \tag{57}$$

unde $\mathbf{G}_{xk}$ și $\mathbf{H}_{xk}$ prezintă aceleași interpretări ca în (52), cu observația că s-au obținut prin intermediul variabilelor de stare și prezintă expresiile :

$$\mathbf{G}_{xk} = (\sigma_{110} \cdot \mathbf{1} - \Delta t \cdot \boldsymbol{\sigma}_{100}^{\mathrm{A}})^{-1} \cdot \Delta t \cdot \boldsymbol{\sigma}_{100}^{\mathrm{B}} \tag{58}$$

și :

$$\mathbf{H}_{xk} = (\sigma_{100} \cdot \mathbf{1} - \Delta t \boldsymbol{\sigma}_{100}^{\mathrm{A}})^{-1} \cdot \sum_{j=1}^{\omega} [\Delta t \cdot \boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{B}} \cdot \mathbf{i}_{k-j} +$$

$$+ (\Delta t \cdot \boldsymbol{\sigma}_{10j}^{\mathrm{B}} - \sigma_{11j} \mathbf{1}) \mathbf{x}_{k-j}] \tag{59}$$

unde cu **1** s-a notat matricea unitate, avînd dimensiunea identică cu matricea de stare **A**.

Dacă matricile **A** și **B** sînt constante, atunci se poate arăta că :

$$\sigma^{\mathbf{A}}_{10j} = \sigma_{10j}\mathbf{A} \tag{60}$$

și :

$$\sigma^{\mathbf{B}}_{10j} = \sigma_{10j}\mathbf{B}. \tag{61}$$

Înlocuind (57) și (58) considerat în momentul t_k, se poate obține tot forma liniarizată (53), unde :

$$\mathbf{G}_k = \mathbf{C}_k \cdot \mathbf{G}_{xk} + \mathbf{D}_k, \tag{62}$$

iar :

$$\mathbf{H}_k = \mathbf{C}_k \cdot \mathbf{H}_{xk}. \tag{63}$$

Formal identic poate fi tratat și cazul cînd sistemul este definit, într-un mod mai general, tot prin variabile de stare, de forma :

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{N}(\mathbf{i}, \mathbf{x}, \mathbf{e}, t), \tag{64}$$

pentru care membrul drept este un vector conținînd elemente exprimate prin funcții neliniare. Procedînd asemănător cu (55) și operînd cu vectori extrapolați în raport cu timpul, se poate ajunge la vectorul de stare (65), unde φ_{10js} și μ_{11j} sînt scalari rezultați din (3) în funcție de structurile $F = \text{const.}$, $F = F(t)$ sau $F(i, x, e, t)$, respectiv :

$$\mathbf{x}_k = \Delta t \cdot \sum_{j=0}^{\omega} \sum_{s=1}^{\omega} \varphi_{10js}\mathbf{N}_{ks} - \sum_{j=1}^{\omega} \mu_{11j}\mathbf{x}_{k-j}. \tag{65}$$

Transpunerea acestei relații pe calculator nu ridică probleme deosebite, iar condițiile inițiale cunoscute permit stabilirea secvențelor regresive $\mathbf{N}_{k-s}$ și $\mathbf{x}_{k-j}$ prin procedee uzuale (serii Taylor, Runge-Kutta etc).

7. Exemple de aproximare a soluției unor ecuații diferențiale

Pe baza procedeului expus la punctele 1 și 2, se exemplifică următoarele integrări de ecuații diferențiale cu coeficienți constanți sau variabili în timp :

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} 10\, i \, \mathrm{d}t = \int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (3\dot{e} + e)\mathrm{d}t, \tag{E1}$$

$$\iint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} 5i\mathrm{d}t^2 = \iint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (0{,}5 \cdot \ddot{e} + 1{,}5\dot{e} + e)\mathrm{d}t^2, \tag{E2}$$

$$\iiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} 6i\,\mathrm{d}t^3 = \iiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (\dddot{e} + 6\ddot{e} + 11\dot{e} + 6e)\mathrm{d}t^3, \tag{E3}$$

$$\iiiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} 24i\mathrm{d}t^4 = \iiiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (\ddddot{e} + 10\dddot{e} + 35\ddot{e} + 50\dot{e} + 24e)\,\mathrm{d}t^4, \tag{E4}$$

$$\int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \dot{e}\mathrm{d}t = \int_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (2ti + t^2\dot{i})\mathrm{d}t, \tag{E5}$$

$$\iint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \ddot{e}\mathrm{d}t^2 = \iint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (2i + 4t\dot{i} + t^2\ddot{i})\mathrm{d}t^2, \tag{E6}$$

$$\iiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \dddot{e}\mathrm{d}t^3 = \iiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (6i + 18t\dot{i} + 9t^2\ddot{i} + t^3 \cdot \dddot{i})\mathrm{d}t^3, \tag{E7}$$

$$\iiiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} \ddddot{e}\,\mathrm{d}t^4 = \iiiint_{t_k-\delta t}^{t_k+\delta t} (24i + 96t\dot{i} + 72t^2\ddot{i} + 16t^3\dddot{i} + t^4\ddddot{i})\mathrm{d}t^4. \tag{E8}$$

Unele rezultate mai semnificative ale acestor integrări numerice, bazate pe procedeul liniarizării local-iterative a soluției ecuațiilor diferențiale sînt expuse în tabelul 3.

Intervalul de integrare s-a încadrat între t_o (timpul inițial) și t_f (timpul final), cu pasul de integrare $\Delta t = 2 \cdot \delta t$. Cu Σ_1 s-a notat integrala erorii (față de soluția analitică) în valoare absolută, iar Σ_2 corespunde cu integrala soluției analitice, astfel încît termenul $\frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}\,100\,\%$ poate fi considerat drept un indicator de performanță vizînd precizia integrării numerice prin liniarizare local-iterativă, în intervalul de timp de la t_o la t_f.

7. Concluzii

Liniarizarea local-iterativă a soluției ecuațiilor diferențiale, expusă mai sus, conduce la o serie de avantaje remarcabile, cu aplicații în automatică, electrotehnică ș.a. Forma liniarizată (2) permite :

— evidențierea coeficientului de transfer g_k, a răspunsului liber h_k și a răspunsului forțat $g_k \cdot i_k$, considerate la momentul t_k ;

Tabelul 3

E	Ecuația	Soluția analitică	t_0	t_f	Δt	$\frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}100\,\%$
E_1	$10i=3\dot{e}+e$	$i=1;\ e=10(1-\varepsilon^{-\frac{t}{3}})$	0	6	10^{-2}	$1{,}1.10^{-6}$
E_2	$5i=0{,}5\ddot{e}+1{,}5\dot{e}+e$	$e=5(1+\varepsilon^{-2t}-2\varepsilon^{-t})$	0	6	10^{-2}	$4{,}7.10^{-3}$
E_3	$6i=\dddot{e}+6\ddot{e}+11\dot{e}+6e$	$i=1$ $e=1-3\varepsilon^{-t}+3\varepsilon^{-2t}-\varepsilon^{-3t}$	0	3	10^{-2}	$5{,}1.10^{-2}$
E_4	$24i=\ddddot{e}+10\dddot{e}+35\ddot{e}+50\dot{e}+$ $+24e$	$i=1$ $e=1-4\varepsilon^{-t}+6\varepsilon^{-2t}-$ $-4\varepsilon^{-3t}+\varepsilon^{-4t}$	0	3	25.10^{-4}	$8{,}6.10^{-2}$
E_5	$\dot{e}=2ti+t^2\cdot\dot{i}$	$i=t;\ e=t\cdot i$	0	10	10^{-2}	$7{,}6.10^{-7}$
E_6	$\ddot{e}=2i+4t\dot{i}+t^2\cdot\ddot{i}$	$i=t^2;\ e=t^2\cdot i$	0	3	10^{-2}	$5{,}7.10^{-5}$
E_7	$\dddot{e}=6i+18t\dot{i}+9t^2\ddot{i}+t^3\dddot{i}$	$i=t^3;\ e=t^3i$	0	3	10^{-2}	$9{,}3.10^{-4}$
E_8	$\ddddot{e}=24i+96t\dot{i}+72t^2\ddot{i}+$ $+16t^3\dddot{i}+t^4\cdot\ddddot{i}$	$i=t^4;\ e=t^4\cdot i$	0	3	10^{-2}	$3{,}4.10^{-3}$

— stabilirea unor coeficienți echivalenți g_k și h_k pentru conexiunile uzuale (în serie, în paralel sau cu reacție) ale elementelor liniare sau neliniare;

— folosirea algebrei grafurilor, prin intermediul coeficienților g_k și h_k;

— utilizarea liniarizării local-iterative prin intermediul variabilelor de stare;

— extinderea liniarizării local-iterative pentru ecuații diferențiale cu derivate parțiale;

— operarea cu transformate z și pe această bază stabilirea unor funcții de transfer în z la momentul t_k;

— introducerea unor proceduri de sinteză, fie în planul z, fie în planul secvențial t_{k-j} al timpului;

Tabelul 4

$\sigma_{100}=\frac{25}{24}$	$\sigma_{101}=-\frac{5}{24}$	$\sigma_{102}=\frac{1}{6}$	$\sigma_{103}=-\frac{1}{24}$
$\sigma_{110}=\frac{15}{8}$	$\sigma_{111}=-\frac{25}{8}$	$\sigma_{112}=\frac{13}{8}$	$\sigma_{113}=-\frac{3}{8}$
$\sigma_{200}=\frac{557}{1440}$	$\sigma_{201}=\frac{73}{480}$	$\sigma_{202}=\frac{23}{480}$	$\sigma_{203}=\frac{13}{1440}$
$\sigma_{210}=\frac{37}{48}$	$\sigma_{211}=-\frac{55}{48}$	$\sigma_{212}=\frac{23}{48}$	$\sigma_{213}=-\frac{5}{48}$
$\sigma_{220}=\frac{11}{12}$	$\sigma_{221}=-\frac{9}{4}$	$\sigma_{222}=\frac{7}{4}$	$\sigma_{223}=-\frac{5}{12}$

— implementarea pe calculatoare numerice este simplă și comodă, iar timpul de calcul este mai redus decît cel necesar prin procedee de tip Runge-Kutta sau predictor-corector;

Liniarizarea local-iterativă fiind un procedeu multipas, necesită o serie de precauții la startul calculelor și la apariția unor discontinuități de semnal, probleme care pot fi rezolvate apelînd la subrutine întocmite în acest scop.

O problemă deschisă rămîne corelarea între pasul de integrare Δt și ultima secvență regresivă ω. Rezultate bune s-au obținut pentru:

$$n+2 \leqslant \omega \leqslant n+4, \tag{66}$$

iar pasul de integrare $\Delta t = 2\delta t$ s-a ales drept cea mai mică valoare din șirul de numere;

$$\Delta t_p \cong \frac{1}{100}\sqrt[p]{\frac{F_{pe}}{F_{oe}}}\cdot (p=1,2,\ldots n). \tag{67}$$

Ca urmare, coeficienții de ponderare σ_{npj} având formele fracționare exemplificate în tabelul 4, se aleg în funcție de ordinul n al ecuației diferențiale, în funcție de ordinul p al derivatelor și de ultima secvență regresivă $\omega \geqslant n$ aleasă. Acești coeficienți de ponderare σ_{npj} au fost calculați și întabelați pentru $n=1, 2\ldots, 8$; $p=0, 1, 2, \ldots, 8$ și $\omega = n, n+1, \ldots, 8$, având, așa cum se arată în tabelul 4, forme fracționare pozitive și negative.

Bibliografie

[1] *Coloşi, T.* Untersuchung technischer Prozesse mit Hilfe des Graphen der Matrix des Führungsfrequenzganges. Regelungstechnik und Prozesdatenverarbeitung. Nr. 9/ /1970. RFG.

[2] *Coloşi, T.* Näherungsalgebra für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elemente. Regelungstechnik und Prozesdatenverarbeitung. Nr. 4/1978. RFG.

[3] *Coloşi, T.* Metodă de analiză şi sinteză prin intermediul unei algebre de aproximare pentru sisteme cu elemente liniare şi neliniare. Revista Automatică, Management, Calculatoare. AMC 25/1977, Bucureşti.

[4] *Coloşi, T., Ignat, I., Leţia, I. A.* Algebra for analysis of nonlinear control systems. Proceedings : The Second National Conference on electrical drives. May 1980. Cluj-Napoca.

[5] *Coloşi, T., Ignat, I., Leţia, I. A., Aştilean Adina.* Procedeu numeric de liniarizare, cu aplicaţii în analiza unor categorii de sisteme neliniare. A IV-a Conferinţă internaţională de teoria sistemelor automate şi informatice în industrie. Bucureşti, iunie 1981.

[6] *Coloşi, T., Trifa, V.* Utilizarea unui procedeu numeric de liniarizare, pentru analiza unui sistem de poziţionare incrementală. Al 2-lea Simpozion naţional de teoria sistemelor. Craiova, nov 1982.

[7] *Coloşi, T., Aştilean Adina.* Procedeu numeric de liniarizare pentru o categorie de sisteme neliniare. Al 2-lea Simpozion naţional de teoria sistemelor. Craiova, nov 1982.

[8] *Coloşi, T., Feştilă Lelia, Ignat, I.* Näherungsalgebra für Systeme mit linearen und nichtlinearen Elementen. Buletin I. P. Cluj-Napoca, Nr. 20/1977.

[9] *Coloşi, T., Ignat, I., Feştilă Lelia, Leţia, I. A.* Procedeu numeric de liniarizare pentru sisteme automate neliniare continue. Revista Automatica, Management, Calculatoare. AMC 33/1981.

[10] *Darie, S., Coloşi, T., Bălan, H., Isoc, D.* Control of a oscilating motor. ICEM Lausanne, Suisse, L. M. -18-21 Proceedings 1984.

[11] *Ixaru, L. G.* Metode numerice pentru ecuaţii diferenţiale, cu aplicaţii. Ed. Academiei Bucureşti.

[12] *Cernefki, V. I., Diduc, G. A., Potapenko, A. A.* Metode matematice şi algoritmi în studiul sistemelor automate. E. T. 1973.

[13] *Moszynski, K.* Metode numerice de rezolvare a ecuaţiilor diferenţiale ordinare. E. T. 1973.

[14] *Voicu, M.* Tehnici de analiză a stabilităţii sistemelor automate. E. T. 1986.

[15] *Marden, M.* Geometry of Polynomials. Mathematica Surveys. Nr. 3. Rhode Island 1966.

[16] *Rusu, L.* Produsul SURF — ITCE, Cluj-Napoca.

[17] *Danca, M.* Analiza stabilităţii unui procedeu numeric de liniarizare local-temporală. Proiect de diplomă 1986. Fac. electrotehnică Cluj-Napoca.

[18] *Kuo, B. C.* Sisteme automate cu eşantionare, E. T. 1967.

CZ 534.837

PROCES SINUSOIDAL
ZGOMOT

Reducerea erorilor de estimare a frecvenţelor sinusoidelor prin mărirea pasului de eşantionare şi utilizarea informaţiilor apriori

LIVIU TOMA* — TIMIŞOARA

Introducere

Pentru un proces compus din sinusoide în zgomot, mărirea pasului de eşantionare peste limita impusă de teorema eşantionării conduce la „erori alias" ce pot fi eliminate prin utilizarea unor informaţii apriori despre frecvenţele sinusoidelor [1]. În această lucrare se demonstrează teoretic şi experimental că mărimea pasului de eşantionare peste limita impusă de teorema eşantionării şi eliminarea „erorilor alias" pe bază de informaţii apriori conduc la reducerea erorilor de estimare a frecvenţelor sinusoidelor.

1. Demonstraţia teoretică

În cazul general, o frecvenţă reală f_r a unei sinusoide conţinută de un proces se calculează în funcţie de frecvenţa corespunzătoare f_e, obţinută printr-un algoritm de estimare, cu una dintre relaţiile [1]:

$$f_r = \frac{K_1}{\Delta t} + f_e, \tag{1}$$

$$f_r = \frac{K_2}{\Delta t} - f_e, \tag{2}$$

unde Δt este pasul de eşantionare. Valorile K_1 sau K_2 se obţin cu relaţiile [1]:

$$K_1 = I/2, \text{ pentru } I \text{ par}, \tag{3}$$

$$K_2 = (I + 1)/2, \text{ pentru } I \text{ impar}, \tag{4}$$

unde :

$$I = \text{întreg } (2f_r\Delta t). \tag{5}$$

Eliminarea „erorilor alias" este posibilă dacă informaţia apriori despre frecvenţa f_r permite calculul corect al constantei I. În acest caz termenii $K_1/\Delta t$ sau $K_2/\Delta t$ se determină fără erori, astfel încît frecvenţa reală f_r afectată numai de erorile cu care se obţin estimaţiile pentru frecvenţa f_e.

Reprezentarea grafică a relaţiilor (1) şi (2) este dată în figura 1. Se obţine astfel variaţia valorii frecvenţei f_e, corespunzătoare unei frecvenţe reale f_r, în funcţie de pasul de eşantionare Δt. Se constată că, în afara limitei impuse de teorema eşantionării :

$$2f_r\,\Delta t > 1, \tag{6}$$

* Ing. *Toma, L.* — Institutul Politehnic Timişoara.

valoarea frecvenței estimate f_e este funcție de pasul de eșantionare Δt. De asemenea, se constată o scădere, în ansamblu, a frecvenței estimate la creșterea pasului de eșantionare. Astfel, în estimația pentru frecvența f_r, ponderea termenului determinist ($K_1/\Delta t$ sau $K_2/\Delta t$) crește, în timp ce ponderea termenului estimat f_e scade. Rezultă o reducere a erorii relative de estimare a frecvenței f_r la creșterea pasului de eșantionare peste limita impusă de teorema eșantionării. Se precizează că informația apriori este dată sub forma unui interval de frecvență în care se situează f_r. Acest interval trebuie să fie cu atît mai restrîns cu cît pasul de eșantionare este mai mare, astfel încît să fie posibil calculul corect al constantei I.

2. Rezultate experimentale

Partea experimentală a lucrării se bazează pe simularea unui proces format din două sinusoide și zgomot aditiv. Acest procedeu de experimentare este întîlnit frecvent în literatura de specialitate [2], [3]. Utilizînd același set de eșantioane și mărirea succesivă, prin simulare [4] a pasului de eșantionare, peste limita impusă de teorema eșantionării, se demonstrează reducerea succesivă a erorilor de estimare a frecvențelor sinusoidale.

Eșantioanele corespunzătoare procesului simulat se obțin cu relația:

$$y_n = \sin(2\pi f_1 n\Delta t + \varphi_1) + \sin(2\pi f_2 n\Delta t + \varphi_2) + w_n, \quad n = 1,2,\ldots, N, \tag{7}$$

unde $f_1 = 0{,}52$ Hz, $f_2 = 0{,}5$ Hz, $\varphi_1 = \pi/4$, $\varphi_2 = 0$, $\Delta t = 0{,}9$ s, $N = 25$ și $\{w_n\}$ este o secvență de numere aleatoare Gaussiene de medie nulă și dispersie σ_2. Raportul semnal-zgomot, definit prin relația:

$$\mathrm{SNR} = 10 \log \frac{1}{\sigma^2}, \tag{8}$$

este de 30 dB.

Tabelul 1

Informațiile apriori necesare eliminării „erorilor alias" pentru un proces compus din $f_1 = 0{,}5$ Hz, $f_2 = 0{,}52$ Hz

Pas de eșantionare	I	K_1	K_2	Informație apriori (Interval de frecvență)
0,6 s	0	—	—	—
1,8 s	1	—	1	(0,277...0,555) Hz
2,7 s	2	1	—	(0,370...0,555) Hz
3,6 s	3	—	2	(0,416...0,555) Hz
4,5 s	4	2	—	(0,444...0,555) Hz

În tabelul 1 se prezintă informațiile apriori necesare eliminării „erorilor alias" pentru pași de eșantionare ce depășesc limita impusă de teorema eșantionării ($\Delta t > 1$ s). Aceste informații sînt date sub forma unor intervale de frecvență calculate pe baza relației (5) și în care sînt cuprinse frecvențele ce urmează a se estima. Se constată restrîngerea intervalelor de frecvențe odată cu creșterea pasului de eșantionare.

Tabelul 2

Mediile statistice și abaterile standard ale estimațiilor pentru două frecvențe în zgomot aditiv: $f_1 = 0{,}5$ Hz, $\varphi_1 = \pi/4$, $f_2 = 0{,}52$ Hz, $\varphi_2 = 0$, $N = 25$, $\Delta t = 0{,}9$ s, SNR = 30.0 dB

Pas de eșantionare (simulat)	Frecvența f_1		Frecvența f_2	
	Medie statistică	Abatere standard	Medie statistică	Abatere standard
0,9 s	*	*	*	*
1,8 s	0,50077	$7{,}196.10^{-3}$	0,52301	$7{,}406.10^{-3}$
2,7 s	0,50011	$3{,}215.10^{-3}$	0,52016	$2{,}389.10^{-3}$
3,6 s	0,49958	$2{,}297.10^{-3}$	0,52039	$1{,}617.10^{-3}$
4,5 s	0,49913	$1{,}535.10^{-3}$	0,52065	$1{,}252.10^{-3}$

* În acest caz algoritmul de calcul nu permite separarea celor două sinusoide.

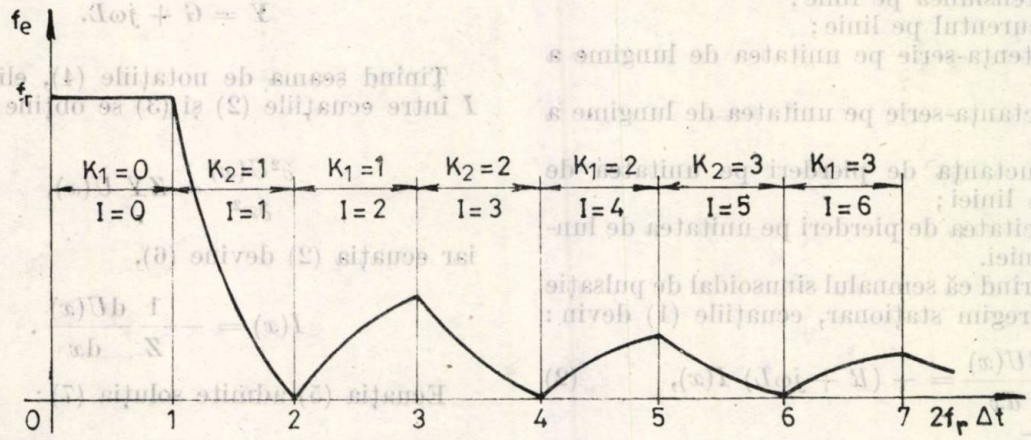


Fig. 1. Variația valorii frecvenței estimate f_e corespunzătoare frecvenței reale f_r, în funcție de pasul de eșantionare Δt

Pentru analiza statistică a estimațiilor pentru frecvențe, experimentul este repetat pentru 100 secvențe de zgomot independente. Rezultatele experimentului obținute prin metoda de estimare bazată pe mărirea simulată a pasului de eșantionare [4] și eliminarea erorilor alias sînt prezentate în tabelul 2. Se constată reducerea succesivă a erorilor de estimare a frecvențelor sinusoidelor în cazul măririi succesive a pasului de eșantionare peste limita de 1 s impusă de teorema eșantionării. Se precizează că în acest experiment eșantioanele prelucrate sînt aceleași, mărirea pasului de eșantionare fiind simulată [4].

3. Concluzii

Pentru un proces compus din sinusoide în zgomot, mărirea pasului de eșantionare peste limita impusă de teorema eșantionării și utilizarea informațiilor apriori asupra frecvențelor sinusoidelor la eliminarea „erorilor alias" conduc la reducerea erorilor de estimare a frecvențelor sinusoidelor. Mărirea succesivă a pasului de eșantionare necesită îmbogățirea informației apriori, adică restrîngerea intervalului de frecvențe cunoscut apriori în care se situează sinusoida a cărei frecvență se estimează.

Bibliografie

[1] *Toma, L.* Metodă de eliminare a erorilor la estimarea frecvențelor sinusoidale In : E.E.A.-Automatica și electronica **30**, nr. 3, sept. 1986, p. 91—92.

[2] *Kay, S. M.* and *Marple, S. L. Jr.* Spectrum analysis — a modern perspective. In : Proceedings of the IEEE, vol. **69**, nov. 1981, p. 1380—1419.

[3] *Tufts, D. W.* and Kumaresan, R. Singular value decomposition and improved frequency estimation using linear prediction, In : IEEE Trans. Acoust., Speech., Signal Processing, vol. **ASSP-30**, aug. 1982, p. 671—675.

[4] *Toma, L.* Contribuții la metodele de analiză spectrală. Teză de doctorat. Institutul politehnic Timișoara, 1984.

CZ 621.316.1 : 537.313

Legile lui Kirchoff pentru rețele electrice conținînd linii electrice lungi

MIOARA ALECU—CĂLUȘIȚĂ*

Fie ecuațiile telegrafiștilor [1]:

$$-\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = Ri(x,t) + L\frac{\partial i(x,t)}{\partial t}, \quad (1)$$

$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = Cu(x,t) + C\frac{\partial u(x,t)}{\partial t},$$

unde s-au notat :
$u(x, t)$ — tensiunea pe linie ;
$i(x, t)$ — curentul pe linie ;
R — rezistența-serie pe unitatea de lungime a liniei ;
L — inductanța-serie pe unitatea de lungime a liniei ;
G — conductanța de pierderi pe unitatea de lungime a liniei ;
C — capacitatea de pierderi pe unitatea de lungime a liniei.

Considerînd că semnalul sinusoidal de pulsație ω, este în regim staționar, ecuațiile (1) devin :

$$\frac{dU(x)}{dx} = -(R + j\omega L)\cdot I(x), \quad (2)$$

$$\frac{\mathrm{d}I(x)}{\mathrm{d}x} = -(G + j\omega C)U(x), \quad (3)$$

unde $U(x)$ și $I(x)$ sînt amplitudinile tensiunii și curentului pe linie.

Notînd cu Z și Y impedanța, respectiv admitanța de pierderi pe unitatea de lungime a liniei :

$$Z = R + j\omega L,$$
$$Y = G + j\omega L. \quad (4)$$

Ținînd seama de notațiile (4), eliminînd pe I între ecuațiile (2) și (3) se obține :

$$\frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} = ZY\,U(x), \quad (5)$$

iar ecuația (2) devine (6),

$$I(x) = -\frac{1}{Z}\frac{\mathrm{d}U(x)}{\mathrm{d}x}. \quad (6)$$

Ecuația (5) admite soluția (7) :

$$U(x) = Ae^{\sqrt{ZY}x} + Be^{-\sqrt{ZY}x}. \quad (7)$$

* Ing. *Alecu-Căluşiță, M.* — ICPE—București,

Punînd condiția că la capetele liniei tensiunea are valorile $U(o)$ și $U(1)$:

$$U(0) = A + B,$$

$$U(1) U\, A\, e^{\sqrt{ZY}l} + B\, e^{-\sqrt{ZY}l}, \qquad (8)$$

se determină valorile constantelor A și B:

$$A = \frac{U(1) - U(0)\, e^{-\sqrt{ZY}l}}{e^{\sqrt{ZY}l} - e^{-\sqrt{ZY}l}}, \qquad (9)$$

$$B = \frac{-U(1) + U(0)\, e^{\sqrt{ZY}l}}{e^{\sqrt{ZY}l} - e^{-\sqrt{ZY}l}}.$$

Notînd Y_0 admitanța caracteristică a liniei și soluția ecuației caracteristice (3), se obține:

$$Y_0 = \sqrt{\frac{Y}{Z}}, \qquad (10)$$

$$\gamma = \sqrt{ZY} \qquad (11)$$

și ținînd seama de ecuațiile (7) și (9), din (6) se obține:

$$I(x) + Y_0 \frac{U(0)e^{-\gamma l} - U(1)}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} e^{\gamma x} + \frac{U(0)e^{\gamma l} - U(1)}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} e^{-\gamma x}. \qquad (12)$$

La capetele liniei, relația (12) devine:

$$I(0) = Y_0 \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} U(0) - Y_0 \frac{2}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} U(1), \qquad (13)$$

$$I(1) = - Y_0 \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} U(1) + Y_0 \frac{2}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} U(0). \qquad (14)$$

Se notează:

$$Y_1 = Y_0 \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}, \qquad (15)$$

$$Y_2 = Y_0 \frac{2}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}. \qquad (16)$$

Ținînd seama de notațiile (4), (10) și (11), admitanțele (15) și (16) pot fi calculate în funcție de parametrii liniei lungi R, L, G, C și l lungimea liniei, care sînt cunoscute. Calculul nu este anevoios dacă se folosește calculatorul electronic.

Ecuațiile (13) și (14) devin:

$$I(0) = Y_1 U(0) - Y_2 U(1), \qquad (17)$$

$$I(1) = - Y_1 U(1) + Y_2 U(0). \qquad (18)$$

Curentul care iese din nodul corespunzător începutului liniei este egal cu tensiunea acestui nod înmulțită cu Y_1 minus tensiunea la celălalt capăt înmulțită cu Y_2. Respectiv, curentul care intră în nodul corespunzător capătului celuilalt al liniei, dat de (18).

Expresia curentului în linie pentru cele două noduri este aceeași, semnul expresiei (18) fiind inversat datorită convenției făcute că, în al doilea capăt al liniei curentul iese spre exterior.

Considerînd linia echivalentă cu un cuadripol și sensul curenților intrînd în cuadripol:

$$I_1 = Y_{11} U_1 - Y_{12} U_2, \qquad (19)$$

$$I_2 = - Y_{21} U_1 + Y_{22} U_2, \qquad (20)$$

unde:

$$Y_{11} = Y_{22} = Y_1,$$

$$Y_{12} = Y_{21} = Y_2, \qquad (21)$$

$$U_1 = U(0),$$

$$U_2 = U(1).$$

În cazul liniei fără pierderi $Y_2 = Y_1$ reprezintă admitanța dintre cele două noduri de capăt ale liniei.

Expresiile (17), (18), respectiv (19), (20) reprezintă o generalizare a legii lui Ohm la liniile cu pierderi.

Se pot aplica legile lui Kirchoff la rețele electrice conținînd linii lungi cu pierderi știind că pe baza formulelor (17), (18) linia cu pierderi este caracterizată prin două admitanțe.

Bibliografie

[1] *Cartianu, Gh.* Bazele Radiotehnicii, vol. II, Tip. Inst. Politehnic București, 1954.

[2] *Alecu-Călușiță, M., Gheorghe, V.* Computer program for electrical networks study. Lucrările ICPE nr. 33, 1980, p. 108–113.

CZ 656.22 : 621.3.011.3

TRANSPORTURI FEROVIARE
SIGURANȚA CIRCULAȚIEI TRENURILOR

Inductoare de cale pentru instalațiile de autostop INDUSI-I-60 avînd bobina cu miezul din tole

CLEMENT TUDORACHE, COSTEL DIACONESCU, MIHAI CHIRIAC și GRIGORE UNGUREANU* — IAȘI

Introducere

Siguranța circulației trenurilor presupune transmiterea unor informații relative la poziția semnalelor și deci a stării de liber sau ocupat a căii, ceea ce se realizează printr-un cuplaj între echipamentul din cale și cel de pe locomotivă. Acest cuplaj a fost realizat, în ordinea evoluției, sub formă mecanică, electrică, magnetică, inductivă.

Sistemul de cuplaj inductiv s-a impus prezentînd avantaje certe față de toate celelalte sisteme. Cuplajul inductiv se realizează prin circuite oscilante acordate pentru o anumită frecvență de rezonanță. Printre avantajele importante ale acestui sistem se pot enumera :

— lipsa oricărui element de contact între echipamentul din cale și cel de pe locomotivă ;

— nu necesită sursă de alimentare a echipamentului din cale ;

— montaj relativ ușor, întreținere puțin costisitoare ;

— siguranță în funcționare, cuplajul inductiv nefiind influențat de depunerile de zăpadă, chiciură etc.

Date fiind avantajele sale, sistemul a căpătat o largă răspîndire. În scopul creșterii siguranței circulației trenurilor și al modernizării, Căile Ferate Române au fost dotate în anii 1960 cu instalații de tip inductiv INDUSI-I-60 pentru controlul punctal al vitezei.

Instalațiile INDUSI-I-60, cu care sînt dotate în prezent căile ferate din țara noastră sînt produse de mai mulți ani de Întreprinderea „Electromagnetica" București (inductoarele de cale și de locomotivă) și ICRET București (blocul electronic), după licența firmei SEL—RFG. Producția de inductoare de cale și de locomotivă la Electromagnetica București presupunea importul unor condensatoare cu mica, cît și al miezurilor din ferită pentru bobine.

Dezavantajele inductorului de cale avînd bobina cu miezul din ferită sînt :

a. Suportă greu șocurile și vibrațiile puternice la care sînt supuse în exploatare, datorită faptului că miezul bobinei este format din mai multe pastile lipite între ele. Experiența din domeniul întreținerii și reparării inductoarelor de cale arată că se produc atît dezlipiri ale pastilelor, cît și spargei ale acestora.

b. Necesită o rezistență de izolație foarte mare, ca urmare a tensiunilor relativ mari existente în circuitul oscilant bobină — condensator. Rezistența de izolație mare ($R_{iz} \geq 200$ MΩ în stare uscată și $R_{iz} \geq 50$ M după proba la ciclu climatic) se dovedește a fi greu de menținut pe o perioadă îndelungată, în condițiile în care inductorul este supus atît la șocuri și vibrații, cît și la intemperii.

c. Solicită izolația cu mica a condesatorilor datorită tensiunilor mari din circuit. În practică, numeroase cazuri de defectare se datoresc străpungerii foițelor de mica ale condensatoarelor.

În scopul eliminării importului de pastile din ferită, cît și al îmbunătățirii calităților produsului, în cadrul unei cercetări s-a studiat problema înlocuirii miezului din ferită cu un miez din tole de fero-siliciu (bandă electrotehnică) de producție internă (C.O.S. Tîrgoviște). Studiul nostru a pornit de la următoarele considerente :

a. Pentru eficiența tehnico-economică a soluției propuse s-a avut în vedere păstrarea carcasei existente și, pe cît posibil, a condensatoarelor existente.

b. S-a avut în vedere păstrarea vitezelor maxim admise asigurate de inductoarele cu ferită și anume : 220 km/h pentru inductoarele de 1 000 și 2 000 Hz și 110 km/h pentru inductoarele de 500 Hz.

1. Studiul instalației de autostop INDUSI-I-60

Calitățile pe care trebuie să le îndeplinească inductoarele de cale cu ferită sînt stipulate în NI 2565/69 Electromagnetica. Dintre parametrii electrici se menționează : impedanța la rezonanță, factorul de calitate, frecvența de rezonanță, curentul de rezonanță și rezistența de izolație. Realizarea unui inductor de cale avînd bobina cu miezul din tole care să satisfacă condițiile impuse de NI 2565/69 ar fi garantat succesul acțiunii de asimilare. S-a constat însă că, cu toate măsurile luate pentru creșterea factorului de calitate, acesta nu putea depăși valorile 15—16 în timp ce norma impune $Q \geq 25$. În același timp impedanțele la rezonanță depășeau cu mult valorile maxime admise de normă, date fiind pierderile mai mari în miezul de fero-siliciu. În acest fel s-a dovedit necesar un studiu teoretic al instalației.

Echipamentul pentru controlul punctal al vitezei trenurilor cu cuplaj inductiv comportă două inductoare, din care un inductor, *1*, montat pe

* Ing. *Tudorache, C.*, ing. *Diaconescu, C.*, dr. fiz. *Chiriac, M.* — Centrul de Fizică Tehnică — Iași ; ing. *Ungureanu, Gr.* — Regionala CFR — Iași.

vehicul și altul 2, montat în cale, la o anumită distanță a pe verticală, care este de aproximativ 120 mm.

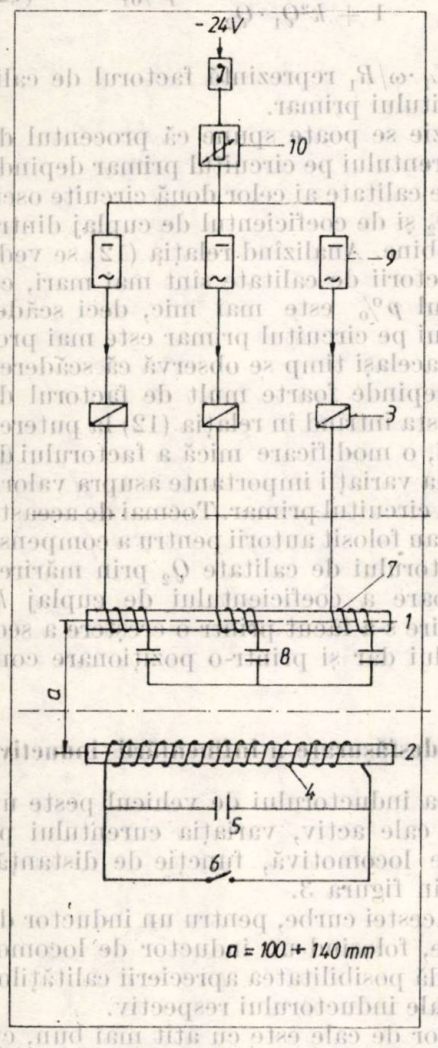


Fig. 1. Schema de principiu a instalației INDUSI—60.

Inductorul de cale cuprinde un circuit oscilant, format dintr-o bobină 4, un grup de condensatoare 5 și un întrerupător 6 numit contact de semnal, montat în derivație cu bobina și condensatorul și pus în dependență de semnalul respectiv. În funcție de poziția de liber sau ocupat a acestui semnal, întrerupătorul scurtcircuitează sau nu circuitul oscilant, făcînd inductorul activ sau pasiv. Întreg ansamblul este închis într-o carcasă de silumin, avînd la partea superioară un capac din material nemagnetic. După montarea ansamblului bobină-condensator, interiorul carcasei de silumin este umplut cu o masă izolantă care etanșează și împiedică pătrunderea în interior a apei, zăpezii etc.

Inductorul de locomotivă este de o construcție similară aceluia din cale, însă el are o bobină triplă 7, fiind conectat la un grup de condensatoare 8 și relee 3. Inductorul este alimentat de la un generator de impulsuri 9. Întreg ansamblul este acordat pentru anumite frecvențe și anume : 500, 1 000 și 2 000 Hz.

Amplasarea celor două inductoare este astfel făcută încît ele să se suprapună la trecerea locomotivei prin acel punct.

Studiul instalației INDUSI-I-60 trebuie să plece de la analiza circuitelor cuplate electromagnetic. Circuitul instalației de pe locomotivă (unul din cele trei circuite similare) se asimilează cu circuitul inductorului de cale cu circuitul secundar 2.

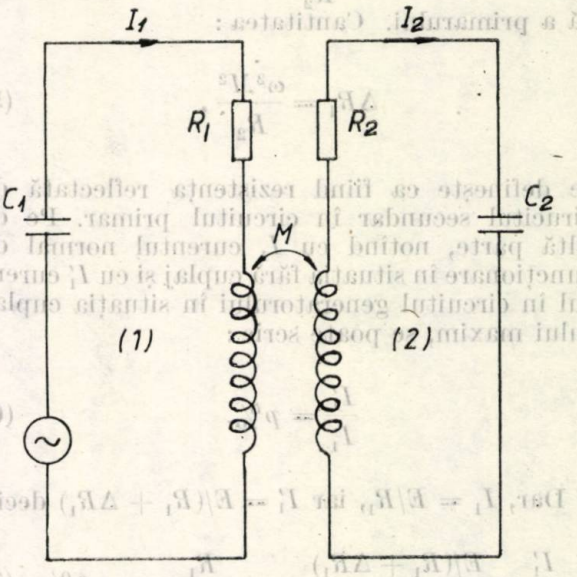


Fig. 2. Circuite cuplate electromagnetic.

Se demonstrează că expresia curentului în circuitul primar are forma. :

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_1 + \dfrac{\omega^2 \cdot M^2}{\bar{Z}_2}}, \qquad (1)$$

unde :
$\bar{I}_1$ este curentul în circuitul primar ;
$\bar{E}$ — t.e.m. a sursei ;
$\bar{Z}_1$ — impedanța circuitului primar ;
M —inductanța mutuală între cele două bobine.

Această relație arată că impedanța complexă la bornele generatorului este :

$$\bar{Z} = \bar{Z}_1 + \frac{\omega^2 \cdot M^2}{\bar{Z}_2}. \qquad (2)$$

Astfel, faptul de a cupla un circuit secundar la un circuit primar, modifică impedanța circuitului primar cu cantitatea :

$$\bar{Z}_k = \frac{\omega^2 \cdot M^2}{\bar{Z}_2}. \qquad (3)$$

Atunci cînd fiecare dintre circuitele cuplate este în prealabil acordat pe frecvența f_0 a semnalului de intrare, reactanțele primarului și secundarului sînt nule; în aceste condiții $\bar{Z}_1 = R_1$, $\bar{Z}_2 = R_2$. Intensitatea curentului primar va fi:

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}}{R_1 + \dfrac{\omega^2 M^2}{R_2}}, \tag{4}$$

unde: $R = R_1 + \dfrac{\omega^2 M^2}{R_2}$ este rezistența aparentă a primarului. Cantitatea:

$$\Delta R_1 = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}, \tag{5}$$

se definește ca fiind rezistența reflectată de circuitul secundar în circuitul primar. Pe de altă parte, notînd cu I_1 curentul normal de funcționare în situația fără cuplaj și cu I_1' curentul în circuitul generatorului în situația cuplajului maxim, se poate scrie:

$$\frac{I_1'}{I_1} = p\%. \tag{6}$$

Dar, $I_1 = E/R_1$, iar $I_1' = E/(R_1 + \Delta R_1)$ deci:

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{E/(R_1 + \Delta R_1)}{E/R_1} = \frac{R_1}{R_1 + \Delta R_1} = p\%. \tag{7}$$

Înlocuind R_1 cu expresia (5) se obține:

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{R_1}{R_1 + \dfrac{\omega^2 \cdot M^2}{R_2}} = p\%. \tag{8}$$

Dar:

$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}, \tag{9}$$

unde:
k este coeficientul de cuplaj a celor două circuite, L_1, L_2 — inductanțele bobinelor primară și secundară.

Rezultă:

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{R_1}{R_1 + \dfrac{\omega^2 \cdot k^2 \cdot L_1 \cdot L_2}{R_2}}. \tag{10}$$

Se observă că $\omega \cdot L_2/R_2 = Q_2$ reprezintă factorul de calitate al circuitului secundar, deci:

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{R_1}{R_1 + \omega k^2 L_1 \cdot Q_2}. \tag{11}$$

Prin împărțirea cu R_1 se obține final:

$$\frac{I_1'}{I_1} = \frac{1}{1 + k^2 Q_1 \cdot Q_2} = p\%, \tag{12}$$

unde $Q_1 = L_1 \cdot \omega / R_1$ reprezintă factorul de calitate al circuitului primar.

În concluzie se poate spune că procentul de scădere a curentului pe circuitul primar depinde de factorii de calitate ai celor două circuite oscilante Q_1 și Q_2 și de coeficientul de cuplaj dintre cele două bobine. Analizînd relația (12) se vede că, cu cît factorii de calitate sînt mai mari, cu atît procentul $p\%$ este mai mic, deci scăderea curentului pe circuitul primar este mai pronunțată. În același timp se observă că scăderea curentului depinde foarte mult de factorul de cuplaj k, acesta intrînd în relația (12) la puterea a doua. Deci, o modificare mică a factorului de cuplaj duce la variații importante asupra valorii curentului în circuitul primar. Tocmai de această observație s-au folosit autorii pentru a compensa scăderea factorului de calitate Q_2 prin mărirea corespunzătoare a coeficientului de cuplaj k. Această mărire s-a făcut printr-o creștere a secțiunii miezului dar și printr-o poziționare convenabilă.

2. Curba de desfășurare a influenței inductive

La trecerea inductorului de vehicul peste un inductor de cale activ, variația curentului pe instalația de locomotivă, funcție de distanță, are forma din figura 3.

Trasarea acestei curbe, pentru un inductor de cale oarecare, folosind un inductor de locomotivă etalon, dă posibilitatea aprecierii calităților de eficiență ale inductorului respectiv.

Un inductor de cale este cu atît mai bun, cu cît amplitudinea impulsului principal (central) și lățimea lui sînt mai mari. Instalația de pe locomotivă intră în acțiune în momentul cînd I_1, pe circuitul generatorului scade sub un anumit prag, care se poate regla între 50 și 70%. Pentru ca această scădere să fie sesizată de blocul electronic, durata de menținere a impulsului sub pragul reglat trebuie să fie de minimum 2 ms pentru circuitul de 2 000 Hz, 3 ms pentru circuitul de 1 000 Hz și 4 ms pentru circuitul de 500 Hz — valori ce sînt specificate în cartea tehnică a instalației INDUSI-I-60.

3. Experimentarea variantelor constructive și stabilirea parametrilor optimi

Pentru aprecierea performanțelor inductoarelor cu tole, s-a pornit de la evaluarea suprafeței cuprinse între pragul de declanșare a amplificatorului de impuls și curba de scădere a curentului.

S-au comparat un număr de 24 variante constructive, fiecare variantă avînd anumite caracteristici proprii distincte. Fiecărui model experimental i s-a atașat curba corespunzătoare de scădere a curentului și implicit un număr reprezentînd aria măsurată cu planimetrul. În acest fel s-au comparat performanțele obținute de fiecare model experimental și s-au tras concluziile în ce privește influența factorilor constructivi cum ar fi : grosimea și lățimea tolelor, secțiunea și greutatea miezului, modul de izolare a tolelor etc.

aceeași comparație dar la greutăți egale s-a constatat că forma de bară simplă are eficiență mai mare. Din acest motiv s-a optat pentru forma miezului de bară simplă care duce la o utilizare mai eficientă a materialului. În ce privește izolația, s-au încercat variantele : fără izolație suplimentară, cu izolație suplimentară cu lac, cu izolație din folie de poliester 0,025 mm. Din măsurătorile experimentale s-a constatat că izolarea perfectă a tolelor cu folie de poliester s-ar justifica doar la inductorul de 2 000 Hz, unde performanțele cresc cu aproximativ 7%,

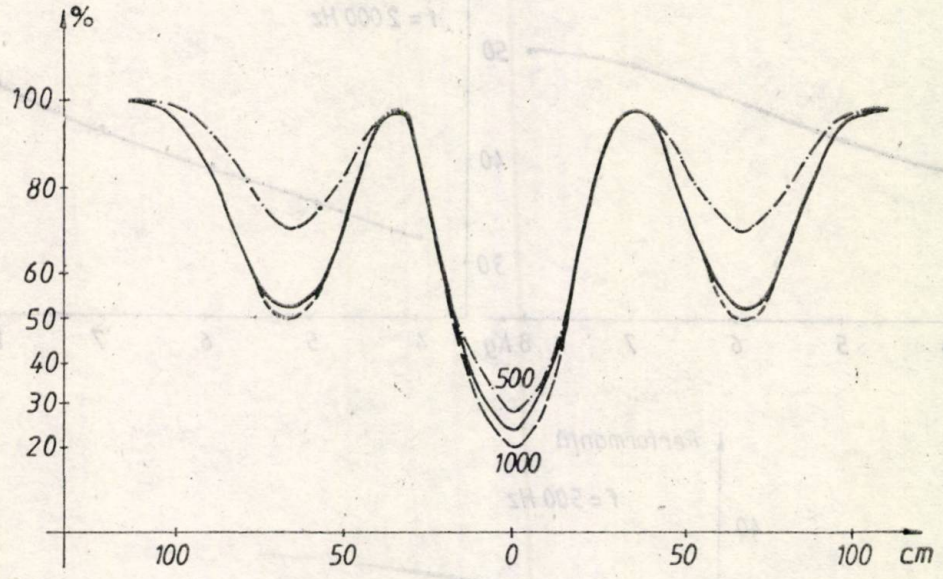


Fig. 3. Curba de desfășurare a influenței inductive.

Ca forme constructive, s-au comparat bobine cu miezul sub formă de bară simplă și bobine avînd miezul sub formă de bară cu poli. Prin

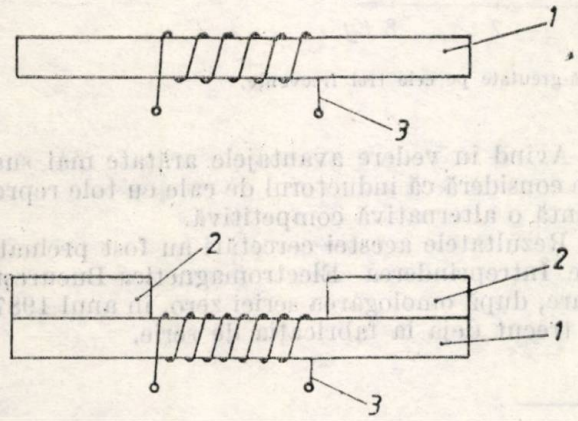


Fig. 4. Forme constructive : bară simplă și bară cu pol.

adăugarea unor poli miezului sub formă de bară s-a obținut o creștere a performanțelor cu aproximativ 5%, dar, prin adăugarea polilor greutatea miezului a devenit mai mare. Făcînd

în timp ce, pe frecvențele de 500 și 1 000 Hz se obțin creșteri nesemnificative ale performanței, în valoare de 1%, respectiv 2,2%. Date fiind greutățile de realizare a unei izolații cu folie la o producție de serie s-a adoptat soluția izolării cu lac, prin imersarea pachetelor de tole.

În figura 5 sînt prezentate graficele performanței inductorului cu tole funcție de greutatea miezului, pe cele trei frecvențe. Se observă din aceste grafice că pe frecvențele de 500 și 1 000 Hz performanța inductorului crește proporțional cu greutatea pînă în jurul valorii de 6,5—7 kg, după care urmează o aplatizare a curbei. Creșterea în continuare a greutății nu mai are efect asupra performanței decît în mică măsură. Pe frecvența de 2 000 Hz, la valoarea de 8 kg a miezului nu s-a obținut încă o plafonare a performanței, iar depășirea acestei greutăți nu era posibilă din considerente impuse de dimensiunile carcasei existente. Pe de altă parte, la o valoare a greutății de numai 7 kg a miezului, s-au obținut coeficienți de siguranță, pe toate cele trei frecvențe, mai mari decît cel impus. În acest fel creșterea greutății miezului peste 7 kg nu era justificată.

4. Concluzii

Inductoarele de cale cu tole au funcţiuni identice şi performanţe apropiate de inductoarele de cale cu ferită, avînd comparativ cu acestea, următoarele avantaje :

a. Suportă mai bine şocurile şi vibraţiile puternice la care sînt supuse în cale, graţie proprietăţilor mecanice mai bune ale miezului din tole faţă de miezul format din pastile de ferită.

b. Se comportă mai bine în condiţiile scăderii rezistenţei de izolaţie, prezentînd eficienţă chiar la rezistenţe de izolaţie mici, datorită tensiunilor micşorate (aproape la jumătate) existente pe bobină şi condensator.

c. Solicită mai puţin izolaţia cu mica a condensatoarelor avînd în acest fel o fiabilitate sporită.

d. Preţ de cost mai redus.

Singurul dezavantaj al inductorului de cale cu tole faţă de cel cu ferită este greutatea ceva mai mare (25 kg faţă de numai 20 kg).

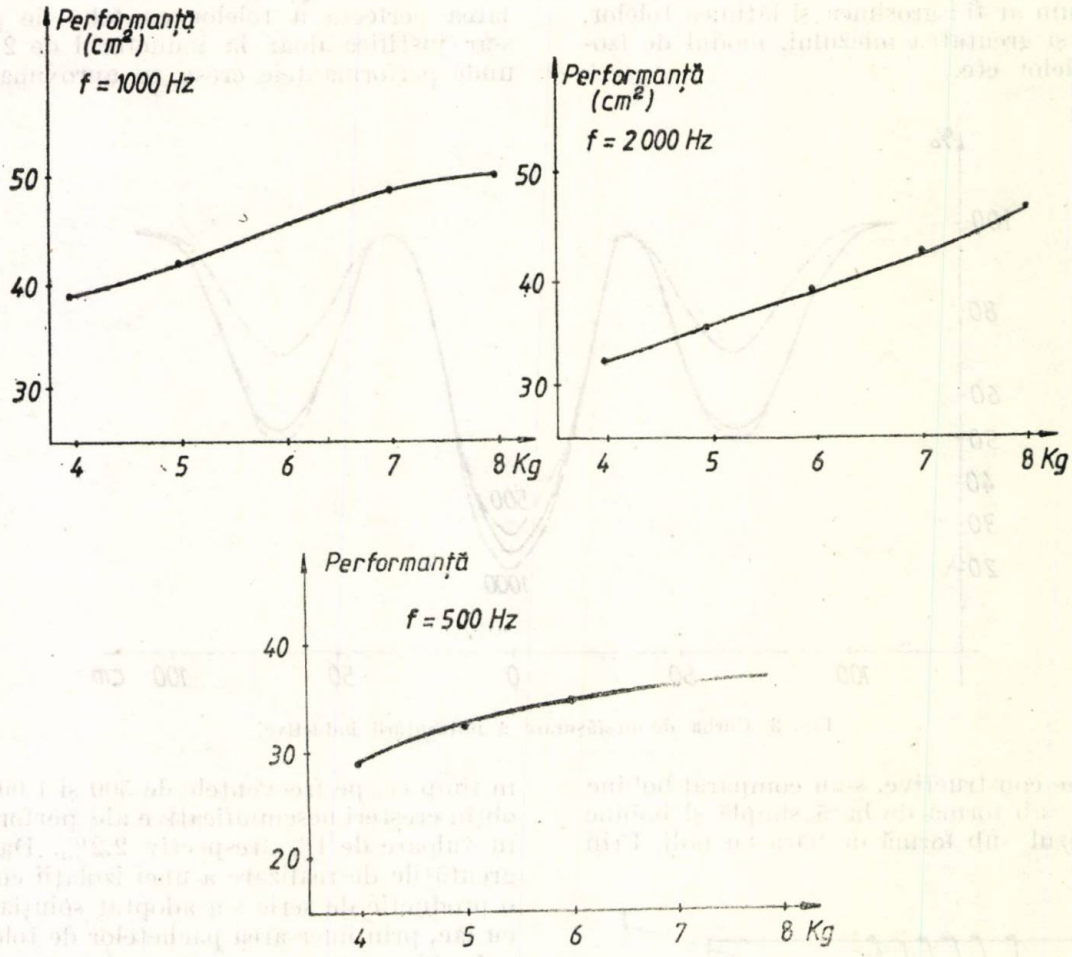


Fig. 5. Curbele experimentale performanţă-greutate pe cele trei frecvenţe.

Avînd în vedere avantajele arătate mai sus, se consideră că inductorul de cale cu tole reprezintă o alternativă competitivă.

Rezultatele acestei cercetări au fost preluate de Întreprinderea Electromagnetica-Bucureşti care, după omologarea seriei zero, în anul 1987, a trecut deja la fabricaţia de serie.

CZ 621.316.17 : 621.316.35

INSTALAȚIE ELECTRICĂ DE ÎNCĂLZIRE
BARE ELECTRICE DE ÎNCĂLZIRE

Instalație electrică pentru încălzirea șuruburilor chiulasei pentru motoare diesel navale fabricație I.C.M. REȘIȚA

EUGEN VIOREL CREȚU* — BUCUREȘTI, GHEORGHE IPO** — TG. MUREȘ,
LILIANA CREȚU*** — BUCUREȘTI

Generalități

Instalația electrică pentru încălzirea șuruburilor de chiulasă a fost realizată pentru operațiile de montare-demontare a motoarelor navale din producția I.C.M. Reșița.

Instalația realizează, cu ajutorul barelor de încălzire speciale a șuruburilor prezoane ale chiulasei motorului termic, o dilatare pe lungime a prezonului, respectiv a chiulasei, după ce prezonul a fost strîns inițial cu un cuplu de prestrîngere prescris. După ce prezonul a fost strîns și s-a dilatat pe lungime, se mai strînge, de asemenea, cu un cuplu suplimentar prescris funcție de tipul motorului termic naval respectiv, asigurîndu-se astfel ca după răcirea prezonului de chiulasă respectiv, prezonul să fie asigurat contra desfacerii din chiulasa motorului termic în cadrul operațiilor de montare-demontare ale motorului termic naval.

De menționat că I.C.M. Reșița a utilizat pînă în prezent o instalație electrică pentru încălzirea șuruburilor de chiulasă, produsă de firma Gerus-RFG, la care barele de încălzire sînt realizate, principal, conform figurii 5 b; această tehnologie de realizare a barei de încălzire indică posibilitatea de a realiza o spirală rezistivă, compusă din mai multe spirale rezistive legate în paralel la cele două bare-suport, care au și rolul de borne electrice de legături.

1. Schema electrică a instalației

Schema electrică a instalației în discuție este prezentată în figura 1.

Această schemă conține următoarele elemente:

— o cuplă de alimentare (R.S.T.N.P.);

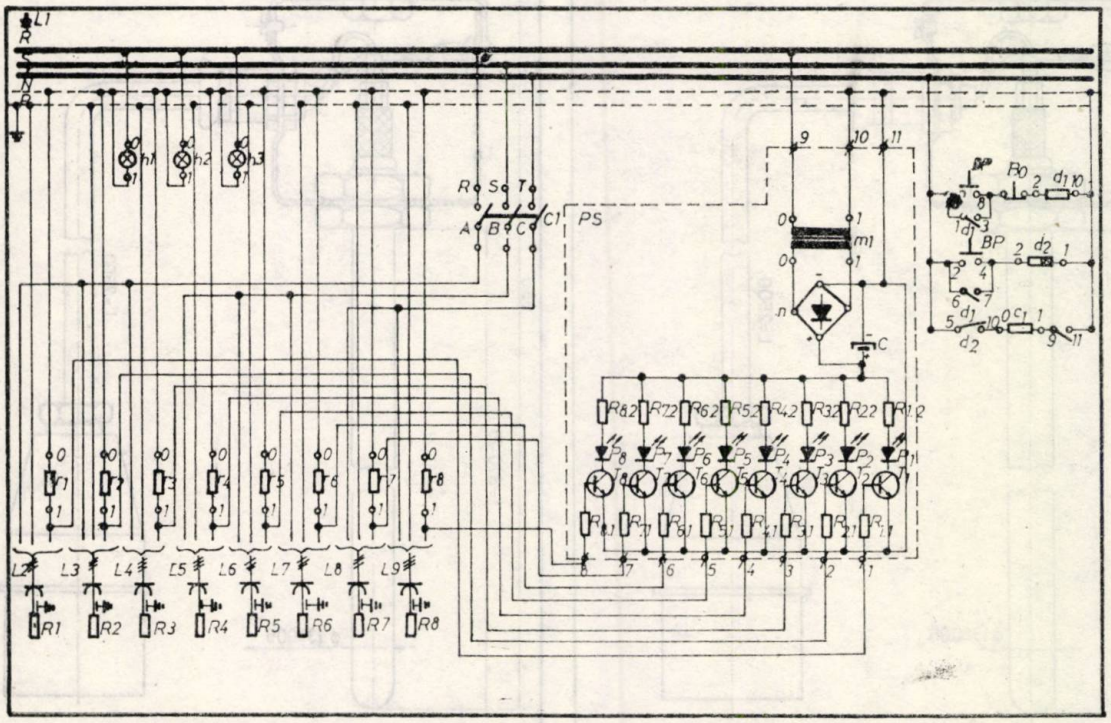


Fig. 1. Schema electrică a instalației pentru încălzirea șuruburilor chiulasei.

— o cutie de comandă (prezentată în figura 2);

— opt rezistențe electrice de încălzire (bare de încălzire): R1—R8.

* Ing. *Crețu E. V.* Institutul Național de Motoare Termice — București;

** th. pr. *Ipo Gh.* I. Electromureș — Tg. Mureș;

*** ing. *Crețu L.* I.C.P.T.S.C.F. — București.

Cutia de comandă a instalației cuprinde următoarele :

— un buton de pornire : BP ;
— un buton de oprire : BO ;
— un ceas programator : d2 (releu de timp tip RTpa 7) ;

— opt rezistențe electrice serie pentru semnalizare bunei funcționări a rezistențelor de încălzire : f1—f8 ;

— opt rezistențe electrice pentru comanda pe bază a fiecărui tranzistor din sistemul de semna-

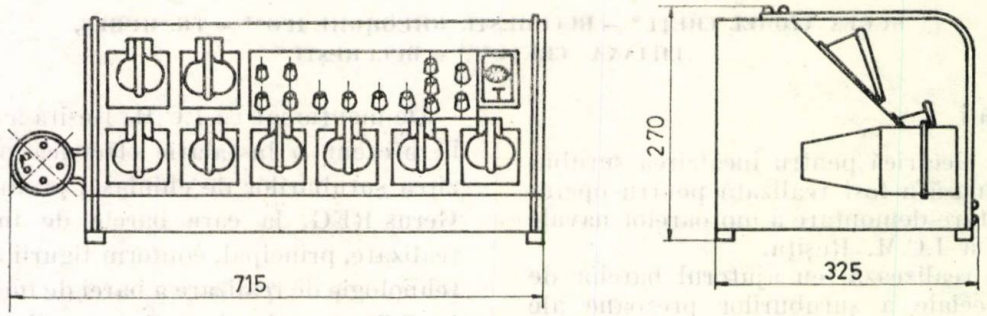


Fig. 2. Cutia de comandă a instalației pentru încălzirea șuruburilor chiulasei.

— opt cuple de alimentare pentru barele de încălzire : L1—L8 ;

lizare al bunei funcționări a rezistențelor de încălzire : R1.1—R8.1 ;

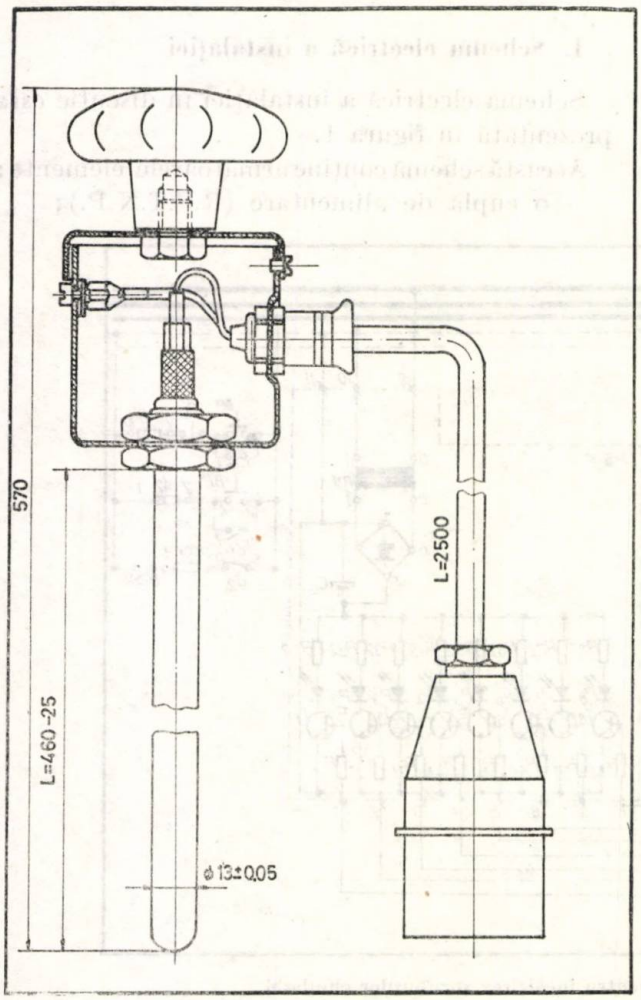


Fig. 3. Bara de încălzire I (P = 1 000 W).

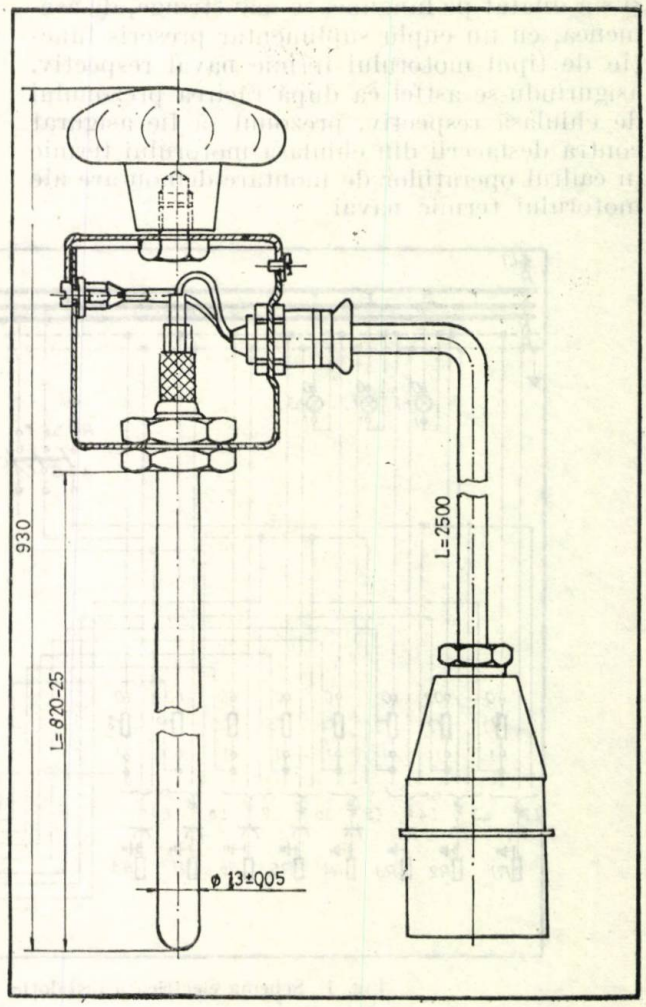


Fig. 4. Bara de încălzire II (P = 1 200 W).

— trei lămpi de semnalizare a prezenței tensiunii pe fazele R.S.T. în cutia de comandă : h1, h2, h3 ;

— opt tranzistoare de alimentare a sistemului de semnalizare a bunei funcționări a rezistențelor de încălzire : T1—T8 ;

— opt rezistenţe electrice de limitare a curentului electric în sistemul de semnalizare a bunei funcţionări a rezistenţelor de încălzire : R1.2-R8.2 ;

— opt lămpi de semnalizare a bunei funcţionări a rezitenţelor de încălzire (în realitate opt diode electroluminescente) : p1—p8 ;

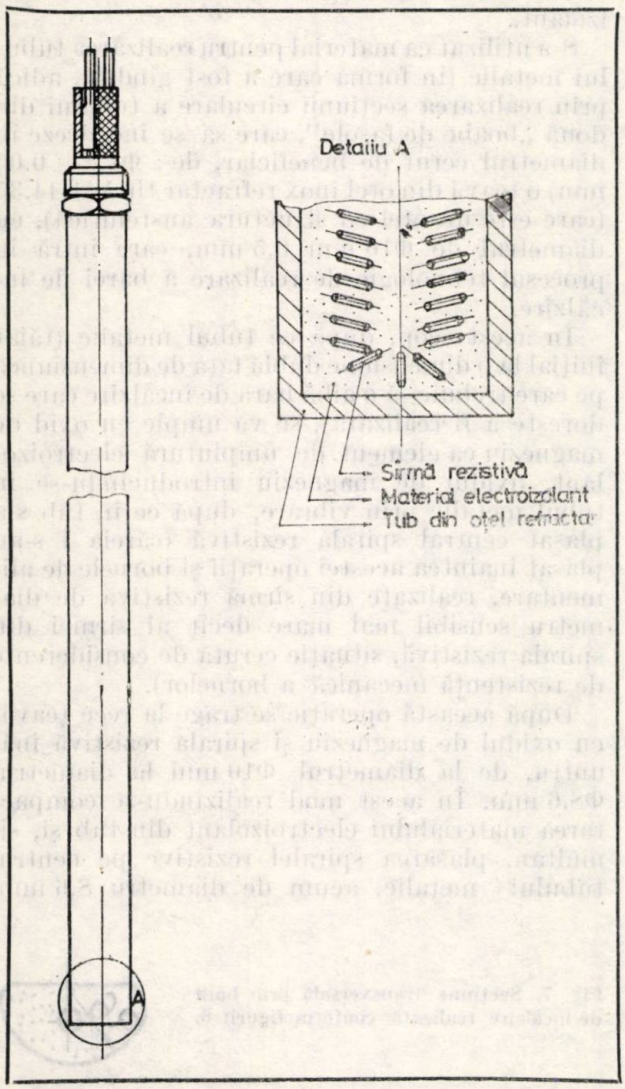


Fig. 5 a. Prima variantă (principal) de realizare a barelor de încălzire a şuruburilor chiulasei.

— un transformator de alimentare a sistemului de semnalizare a bunei funcţionări a rezistenţelor de încălzire : m1 ;

— o punte redresoare integrată : n ;

— un condensator electrolitic de filtraj : C ;

— un releu de comandă : $d1$;

— un contactor de comandă pentru alimentarea rezistenţelor de încălzire : $c1$.

Din figurile 3 şi 4 se constată că se pot manevra barele de încălzire în timpul procesului de încălzire (deci alimentate cu energie electrică), căci rezistenţele de încălzire sînt prevăzute cu o cutie de borne şi un mîner atît electroizolant, cît şi termoizolant, care asigură condiţiile de protecţia muncii.

2. Funcţionarea instalaţiei

Se cuplează alimentarea instalaţiei pentru încălzirea şuruburilor chiulasei.

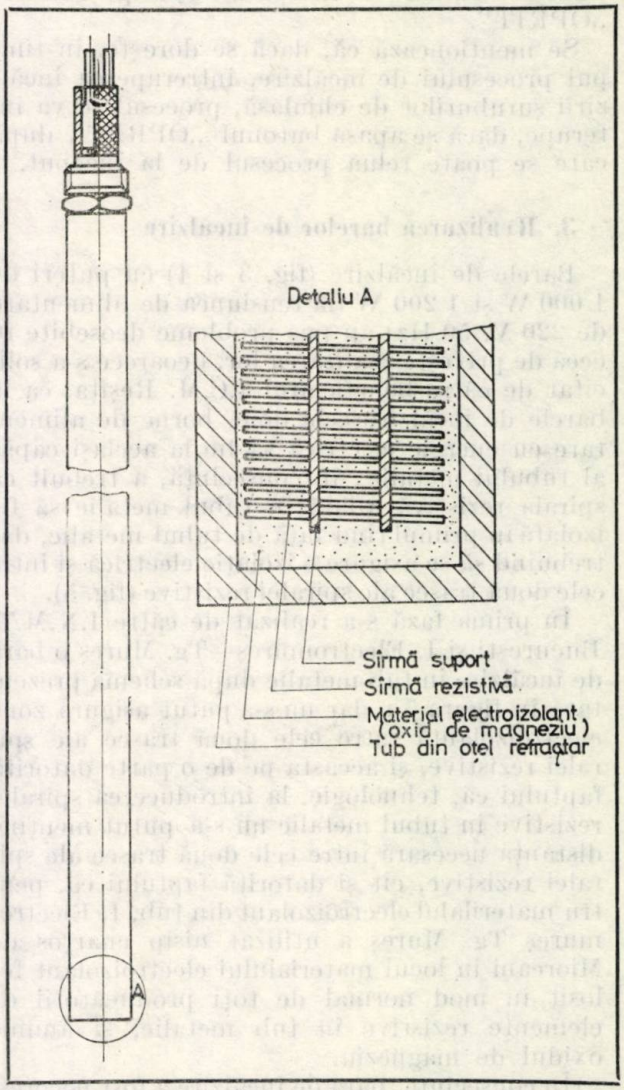


Fig. 5 b. Bara de încălzire realizată de firma Gerus-RFG.

Se programează ceasul programator la timpul de lucru dorit al rezistenţelor electrice de încălzire (timp cuprins între 0—60 minute). Se apasă butonul „PORNIT", dacă se constată că cele trei lămpi de semnalizare a prezenţei tensiunii de alimentare de la reţea sînt aprinse. Prin această comandă se transmite tensiunea de alimentare (220 V, 50 Hz) la fiecare cuplă de alimentare (din cele opt în total) a rezistenţelor electrice de încălzire. Dacă o rezistenţă electrică de încălzire nu este cuplată sau este defectă (întreruptă), lampa de semnalizare aferentă cuplei de alimentare respective nu va fi aprinsă.

În acest mod se realizează și o semnalizare a bunei funcționări a respectivei rezistențe electrice de încălzire.

Apoi se așteaptă timpul programat la ceasul programator, după care se întrerupe automat alimentarea cu energie electrică a rezistențelor electrice de încălzire. Pentru realizarea unui nou ciclu de încălzire se va apăsa inițial pe butonul „OPRIT".

Se menționează că, dacă se dorește, în timpul procesului de încălzire, întreruperea încălzirii șuruburilor de chiulasă, procesul se va întrerupe, dacă se apasă butonul „OPRIT", după care se poate relua procesul de la început.

3. Realizarea barelor de încălzire

Barele de încălzire (fig. 3 și 4) cu puteri de 1 000 W și 1 200 W (la tensiunea de alimentare de 220 V, 50 Hz) au pus probleme deosebite în ceea de privește realizarea lor, deoarece s-a solicitat de către beneficiarul I.C.M. Reșița, ca la barele de încălzire cele două borne de alimentare cu energie electrică să fie la același capăt al tubului metalic; în consecință, a trebuit ca spirala rezistivă aflată în tubul metalic să fie izolată în primul rînd față de tubul metalic, dar trebuind să se asigure o izolație electrică și între cele două trasee ale spiralei rezistive (fig. 5).

În prima fază s-a realizat de către I.N.M.T. București și I. Electromureș—Tg. Mureș o bară de încălzire în tub metalic după schema prezentată în figura 5 a, dar nu s-a putut asigura zona electroizolantă între cele două trasee ale spiralei rezistive, și aceasta pe de o parte datorită faptului că, tehnologic, la introducerea spiralei rezistive în tubul metalic nu s-a putut menține distanța necesară între cele două trasee ale spiralei rezistive, cît și datorită faptului că, pentru materilalul electroizolant din tub, I. Electromureș Tg. Mureș a utilizat nisip cuarțos de Miorcani în locul materialului electroizolant folosit în mod normal de toți producătorii de elemente rezistive în tub metalic, și anume oxidul de magneziu.

În consecință, bara de încălzire a fost necorespunzătoare din punct de vedere funcțional.

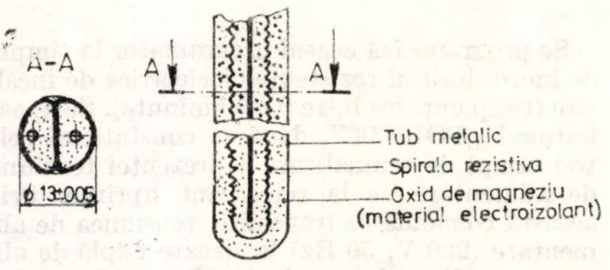


Fig. 6. Varianta finală de realizare (principal) a barelor de încălzire a șuruburilor chiulasei.

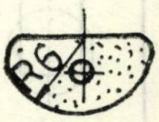
În a doua fază, s-a pornit de la ideea de a realiza o bară de încălzire în tub metalic, conform figurii 6, care să separe complet cele două trasee ale spiralei rezistive, în plus separîndu-se chiar cele două trasee ale tubului metalic; este evident că în tubul metalic se va asigura condiția de rigiditate dielectrică a spiralei rezistive (care este parcursă de curent electric) față de tubul metalic, prin introducerea între spirala rezistivă și tubul metalic, în tot volumul tubului, a oxidului de magneziu ca material electroizolant.

S-a utilizat ca material pentru realizarea tubului metalic (în forma care a fost gîndită, adică prin realizarea secțiunii circulare a tubului din două „boabe de fasole", care să se încadreze în diametrul cerut de beneficiar, de : Φ13 + 0.05 mm) o țeavă din oțel inox refractar tip W1.44.35 (care este un oțel cu structura austenitică), cu diametrul de Φ10 mm 0.5 mm, care intră în procesul tehnologic de realizare a barei de încălzire.

În acest scop, după ce tubul metalic (tăiat inițial la o dimensiune dublă față de dimensiunea pe care trebuie să o aibă bara de încălzire care se dorește a fi realizată), se va umple cu oxid de magneziu ca element de umplutură electroizolant, oxidul de magneziu introducîndu-se în tubul metalic prin vibrare, după ce în tub s-a plasat central spirala rezistivă (căreia i s-au plasat înaintea acestei operații și bornele de alimentare, realizate din sîrmă rezistivă de diametru sensibil mai mare decît al sîrmei din spirala rezistivă, situație cerută de considerente de rezistență mecanică a bornelor).

După această operație se trage la rece țeava, cu oxidul de magneziu și spirala rezistivă înăuntru, de la diametrul Φ10 mm la diametrul Φ8,6 mm. În acest mod realizîndu-se compactarea materialului electroizolant din tub și, simultan, plasarea spiralei rezistive pe centrul tubului metalic, acum de diametru 8,6 mm

Fig. 7. Secțiune transversală prin bara de încălzire realizată conform figurii 6.



În continuare se realizează aplatisarea tubului metalic rezistiv, pentru a obține o secțiune conform figurii 7. Spirala rezistivă s-a plasat în urma acestei operații, în centrul de greutate al „boabei de fasole", asigurîndu-se astfel distanțele de izolație electrică necesare. În cadrul operației de aplatisare s-a constatat că sîrmele rezistive din import folosite s-au rupt ca urmare a acestei operații, singurele sîrme rezistive care nu s-au deteriorat fiind cele realizate de I.C.E.M. — București, și anume, cele cu marca de oțel Cr 20 A 15, echivalente cu sîrmele rezistive ale firmei Kanthal-Suedia, tipul DSD.

După operația de aplatisare se realizează operații de recoacere, îndoire etc., iar în final s

realizează o calibrare la diametrul cerut de beneficiar de : Φ 13 + 0,03 mm și, evident, controlul final din punct de vedere dimensional, cît și al parametrilor electrici de funcționare.

Trebuie subliniat faptul că s-au realizat parametri electrici foarte competitivi pentru barele de încălzire și, în mod special, calități foarte bune ale rezistenței electrice de încălzire din p.d.v. al rigidității dielectrice. S-a verificat rigiditatea dielectrică între bornele barei de încălzire și tubul metalic atît în stare uscată și rece cît și, în special, în stare umedă și caldă, după condiționarea climatică efectuată conform STRE 540/85 (document I. Electromureș Tg. Mureș pentru EIT, și avizat de I.C.P.E. București). După proba de căldură umedă s-a verificat rigiditatea dielectrică astfel : s-a aplicat tensiunea de încercare de 1 250 V, 50 Hz, timp de 1 minut, în continuare s-a crescut tensiunea de încercare la 1 750 V, 50 Hz timp de 30 secunde și, în final, s-a crescut în continuare tensiunea de încercare la 2 000 V, 50 Hz ținîndu-se aplicată această tensiune de încercare încă 1 minut. Nu au apărut conturnări sau străpungeri ale izolației. Această valoare foarte bună a rigidității dielectrice se prevedea atunci cînd s-au efectuat măsurările de rezistență de izolație cu ajutorul unui megohmetru de 500 Vc.c. (tot între borne și tubul metalic), obținîndu-se, în stare uscată și rece, valori ale izolației $R_{izolație}$ = = 50 — 200 Mohm, iar în stare umedă și caldă valori ale rezistenței de izolație $R_{izolație}$ = 1 — — 10 Mohm. În plus barele de încălzire au funcționat chiar și în aer timp de 6—8 ore (care este un regim de funcționare mult mai dur decît cel real, care are un număr de maximum 4 cicluri de funcționare în 24 h, iar pe un ciclu timpul de lucru este de 35 minute cu timp de pauză de 25 minute).

În continuare este prezentat procesul tehnologic detaliat pentru realizarea barelor de încălzire.

4. Procesul tehnologic de realizare a barelor de încălzire

Procesul tehnologic cuprinde următoarele etape :

1. Sortarea materialelor corespunzătoare pentru :
   a. țeava inox W1.44.35—Φ10 mm × ×0.5 mm ;
   b. oxid de magneziu ;
   c. sîrmă rezistivă ;
2 — debitare țeava la „Li" ;
3 — execuție spirală rezistivă ;
4 — sudare borne ;
5 — asamblare subansamblu spirală ;
6 — îndreptare mijloc spirală pe lungimea de 25 mm ;
7 — umplere element de încălzire în tub metalic (EIT) cu oxid de magneziu ;
8 — laminare EIT de la Φ 10 mm la Φ 8,6 mm ;
9 — control C.T.C. pentru continuitate spirală rezistivă și verificare rigiditate dielectrică a spiralei rezistive față de tubul metalic ;
10 — a. strunjire EIT la L final ;
   b. tăiere borne la L final borne ;
11 — recoacere la cuptor SAFED ;
12 — aplatisare EIT ;
13 — control C.T.C. (idem cu pct. 9.) ;
14 — preîndoire EIT cu rază de îndoire R = = 20 mm ;
15 — control C.T.C. (idem cu pct. 9) ;
16 — recoacere EIT la cuptor SAFED ;
17 — îndoire cu calibrare la Φ13 ÷ 0,03 mm ;
18 — control C.T.C. (idem cu pct. 9) ;
19 — sudare bucșe de prindere cutie borne ;
20 — închidere EIT cu cauciuc siliconic ;
21 — control C.T.C. final (idem cu pct. 9) și în plus verificare de funcționare a EIT-ului cu alimentare la tensiune nominală, frecvența nominală, timp de 15 minute.

5. Elemente de dimensionare

Toate elementele necesare realizării barelor de încălzire (pentru cele două variante de putere), elemente rezultate din calculele de dimensionare, sînt prezentate în tabelul 1.

Dimensionarea s-a făcut după [1].

Tabelul 1

Element de proiectare	P= =1 000 W	P= =1 200 W
Mediul de lucru	Aer	Aer
Temperatura țevii, °C	600—650	500—550
L inițial, mm	854	1 509
L activ, mm	840	1 580
L final, mm	940	1 660
Diametru dorn bob. spirală, mm	2,7	2,4
Diametru sîrmă rezistivă, mm	0,4	0,45
Rezistența finală, ohmi	48,40	40,33
Rezistența inițială, ohmi	57,90	48,25
L sîrmă rezistivă, mm	5 795	6 062
Număr spire spirală rezistivă	532	601
L spirală, mm	212	270
Putere specifică sîrmă W/cm pătrat	14,76	14,94
Putere specifică țeavă, W/cm pătrat	4,41	2,81
Diametru bornă inox, mm	2,5	2,5
Lungime totală bornă, mm	90	80
Lungime interioară bornă, mm	50	40

6. Analiza structurii elementelor componente ale barelor de încălzire prin microscopie electronică de baleiaj

În cadrul acestui capitol se vor prezenta rezultatele comparative ale analizei electronomicroscopice efectuate asupra elementelor componente a două bare electrice de încălzire (de aceeași putere electrică debitată, pentru o singură variantă de putere), și anume :

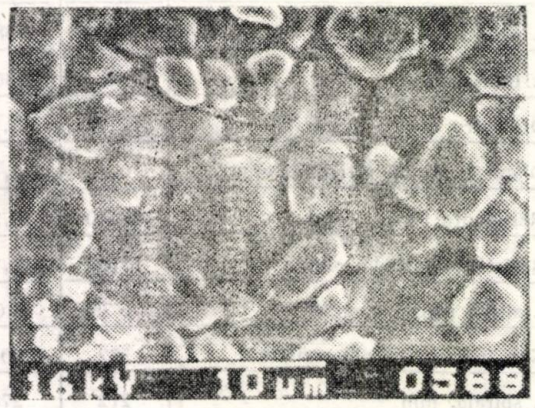
a — bara electrică de încălzire produsă de firma Gerus-Augsburg ;

b — bară electrică de încălzire produsă de Întreprinderea Electromureș Tg. Mureș.

a. Pentru bara electrică de încălzire realizată de firma Gerus-RFG s-au realizat următoarele micrografii, rezultate din investigarea prin microscopie electronică de baleiaj :

1. Micrografii ale tubului metalic al barei de încălzire : figura 8a—0583 (mărire × 5 000) și figura 8b — 0588 (mărire × 10 000) în care se constată că s-a utilizat ca material al tubu-

a)



b)

Fig. 8 a. . .b Micrografii ale materialului tubului metalic al barei de încălzire din figura 5 b.

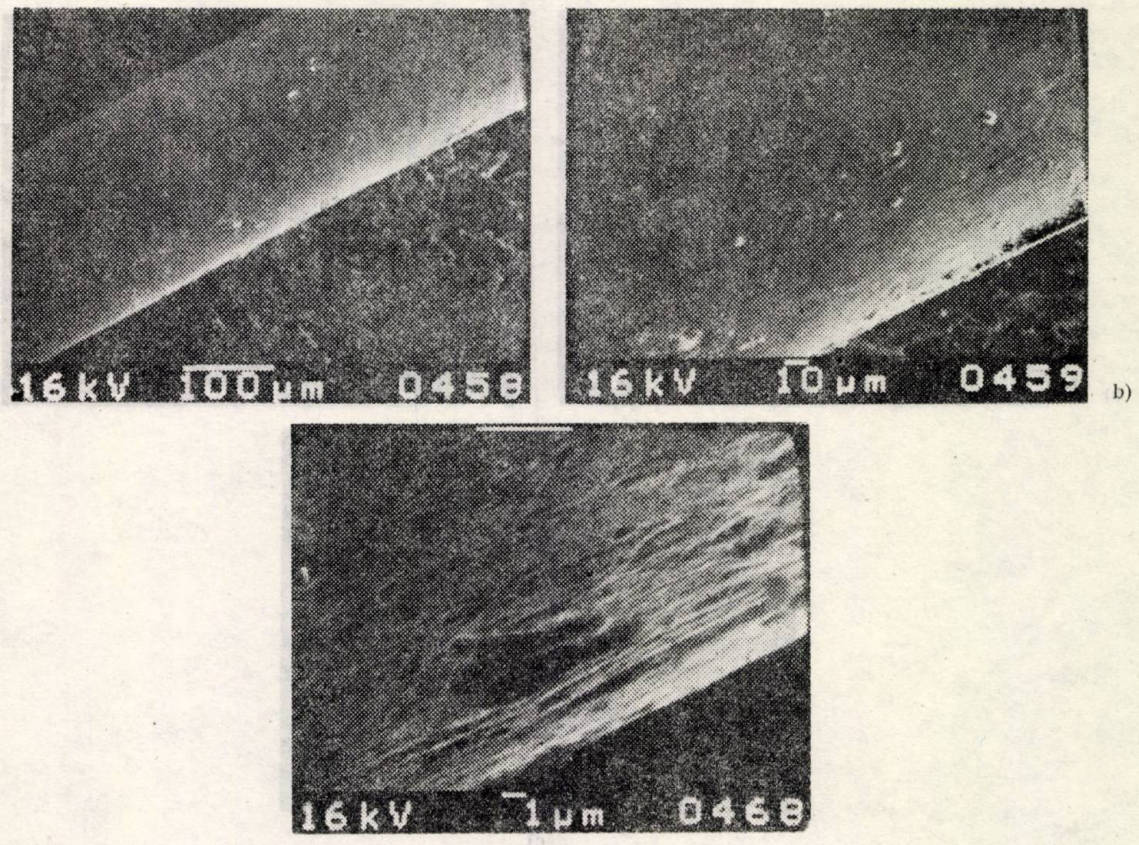
lui metalic un oțel cu structură austenitică, putîndu-se observa în ambele micrografii grăunții de austenită, grăunți fini, structură care asigură rezistența necesară împotriva coroziunii la cald. Se constată de asemenea că, datorită procesului tehnologic de realizare a barei de încălzire (operații de recoacere la temperaturi optime, de cîte ori este nevoie în procesul tehnologic, urmate de răciri în aer), se asigură o perfectă dizolvare a carburilor metalice în grăunții de austenită (carburi metalice care dacă se situează în zonele de separație dintre grăunții de austenită produc la temperaturi ridicate fenomene de coroziune ale oțelului) realizîndu-se astfel calitățile de rezistență ale oțelului împotriva coroziunii la cald. Se constată deci că materialul tubului metalic al barei de încălzire are proprietățile necesare utilizării la temperaturile ridicate de funcționare ale barei de încălzire, și anume, temperaturi maxime de circa 675°C.

2. Micrografii ale sîrmei rezistive din care este realizată spirala rezistivă : figura 9a — — 0458 (mărire × 500), figura 9b — 0459 (mărire × 1 000) și figura 9c — 0468 (mărire × 10 000) din care se poate determina diametrul sîrmei rezistive, de asemenea putîndu-se constata din analiza electronomicroscopică starea îngrijită a suprafeței, acest lucru arătînd o prelucrare mecanică uniformă, îngrijită, a sîrmei rezistive.

3. Micrografii ale sîrmei din care sînt confecționate bornele de legături electrice : figura 10 a — 0404 (mărire × 100) ; figura 10 b —0405 (mărire × 500) ; figura 10 c — 0412 (mărire × × 10 000) ; figura 10 d—0415 (mărire × 15 000) din care se poate determina diametrul sîrmei din care sînt realizate bornele electrice de legături, în plus structura uniformă și aspectul îngrijit al suprafeței sîrmei, suprafața rezultată în urma tragerii, subliniind și faptul că, în plus, sîrma din bornele de legături asigură și o bună rigidizare mecanică a oxidului de magneziu pe toată lungimea lor.

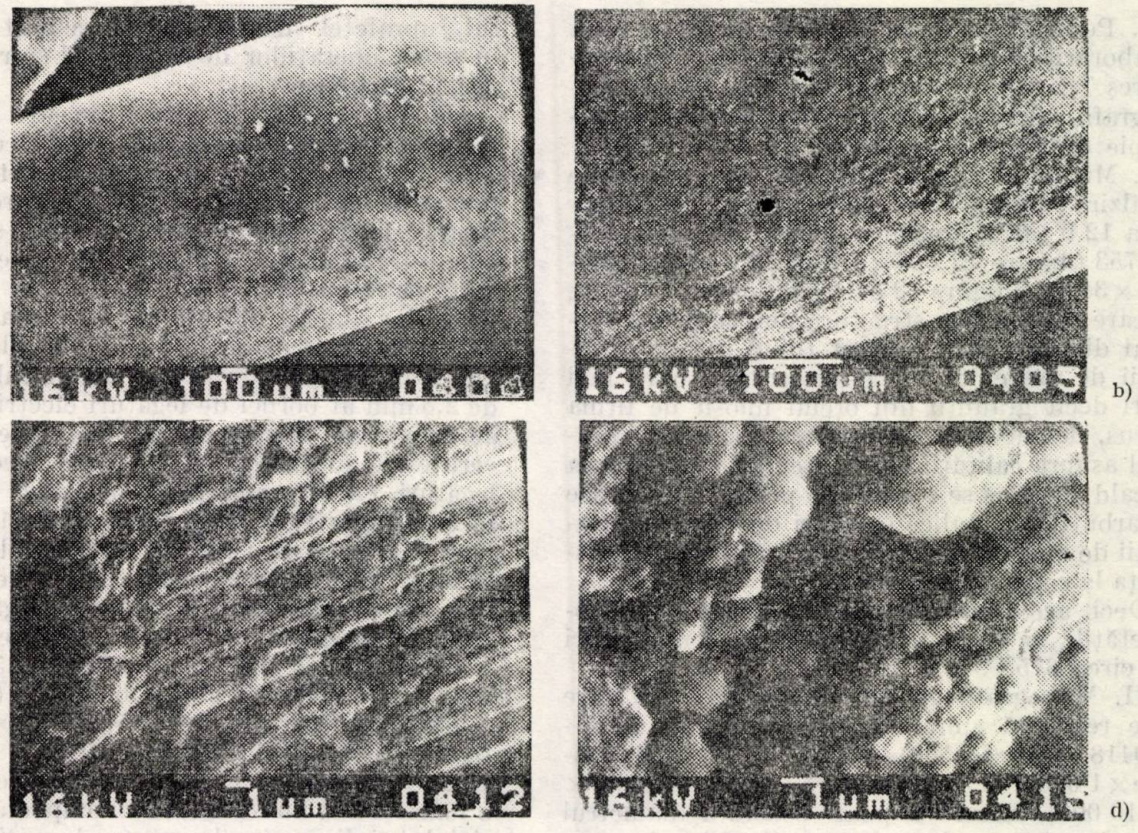
4. Micrografii ale materialului electroizolant (oxidul de magneziu) : figura 11 a—0375 (mărire × 2 000) ; figura 11 b—0386 (mărirea × 10 000) ; figura 11 c—foto : 0385 (mărire × 30000) în care se constată uniformitatea compactării materialului și dimensiunile mici ale golurilor de aer, ceea ce permite obținerea unor valori ridicate ale rezistenței de izolație și implicit asigurarea condițiilor privitoare la valorile impuse ale probei de verificare a rigidității dielectrice.

Structura prezentată, densitate de goluri de aer mică și de dimensiuni reduse, va conduce la valori optime ale coeficientului de conductivitate termică, acest fapt asigurînd posibilități bune de răcire ale spiralei rezistive.



a) b) c)

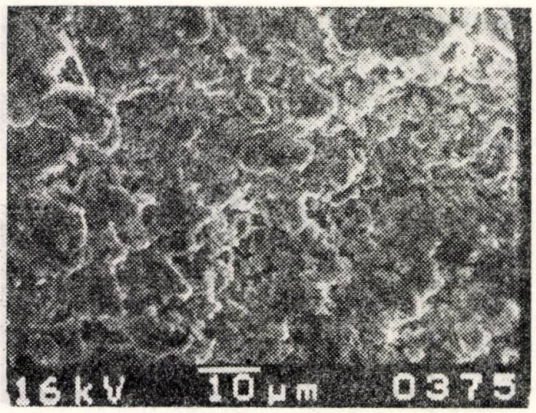
Fig. 9 a . . . c. Micrografii ale sîrmei rezistive a barei de încălzire din figura 5 b.

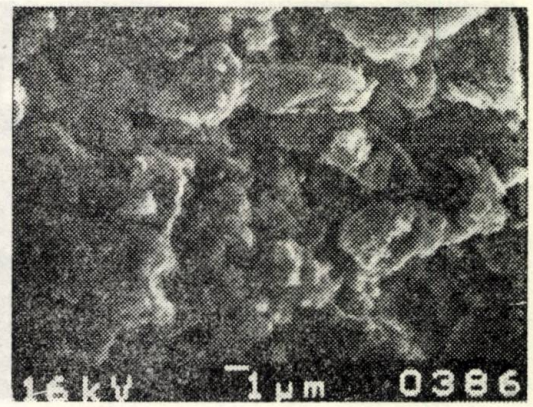


a) b) c) d)

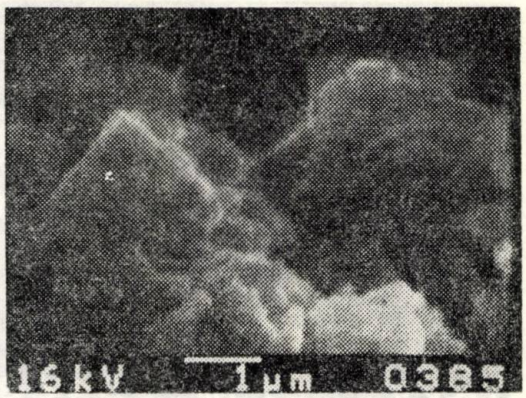
Fig. 10 a . . . d. Micrografii ale sîrmei bornelor de legături ale barei de încălzire din figura 5 b.

a)





b)



c)

Fig. 11 a...c. Micrografii ale materialului electroizolant al barei de încălzire din figura 5 b.

b. Pentru bara de încălzire realizată în urma colaborării dintre INMT București și I. Electromureș Tg. Mureș s-au realizat următoarele micrografii, rezultate din investigarea prin microscopie electronică de baleiaj :

I. Micrografii ale tubului metalic al barei de încălzire : figura 12 a—0750 (mărire × 400) ; figura 12 b—0751 (mărire × 1 000) ; figura 12 c—0753 (mărire × 1 000) ; figura 12 d—0754 (mărire × 3800) și figura 12 e—0752 (mărire × 4 000), în care se constată structura austenitică a oțelului din care este realizat tubul metalic, grăunții de austenită avînd dimensiuni ceva mai mari decît grăunții din oțelul folosit de firma Gerus, dar această situație nu împietează sensibil asupra calității de rezistență la coroziunea la cald. În plus se constată o perfectă dizolvare a carburilor metalice (carburi de crom) în grăunții de austenită, acest fapt asigurînd rezistența la coroziunea la cald.

Deci, acest material (oțel W1.44.35) are proprietățile necesare utilizării lui la temperaturi de circa 675°C.

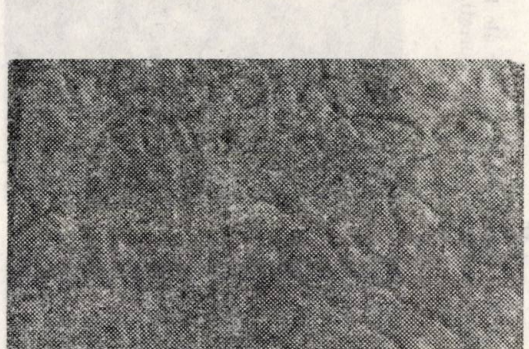
II. Micrografii ale sîrmei rezistive din care este realizată spirala rezistivă : figura 13 a—0418 (mărire × 500) ; figura 13 b—0423 (mărire × 1 000) și figura 13 c—0425 (mărire × × 10 000), în care se poate constata diametrul sîrmei rezistive, observîndu-se în plus, și aspectul suprafeței sîrmei rezistive, aspect rezultat în urma operațiilor de tragere și spiralizare a sîrmei rezistive.

III. Micrografii ale sîrmei din care sînt confecționate bornele de legături electrice : figura 14 a—0745 (mărire × 100) ; figura 14 b—0746 (mărire × 400) ; figura 14 c—0747 (mărire × 1000) ; figura 14 d—0748 (mărire × 2 000) și figura 14 e—0749 (mărire × 10 000) din care se constată calitatea bună a structurii și a suprafeței, iar micile defecte de suprafață (foto 0749), care sînt de ordinul micrometrilor, nu au nici o influență negativă cu diametrul exterior de 2,5 mm al bornei de legături electrice. Deci, această sîrmă asigură atît proprietățile electrice cerute de utilizarea ei ca bornă electrică de legături, cît și proprietățile mecanice solicitate în ceea ce privește asigurarea rigidizării mecanice a spiralei rezistive în materialul electroizolant, în zona de început a barei electrice de încălzire (la începutul bornelor de legături).

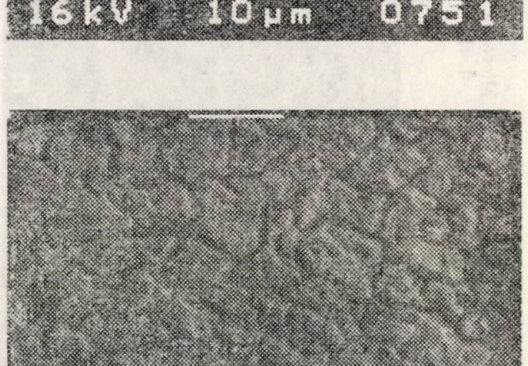
IV. Micrografii ale materialului electroizolant (oxidul de magneziu) : figura 15 a—0652 (mărire × 1 500) ; figura 15b—0653 (mărire × × 10 000) ; figura 15 c—0655 (mărire × 10 000) ; figura 15 d—0654 (mărire × 10 000) și figura 15 e—0656 (mărire × 30 000), în care se constată o foarte bună uniformitate a compactării materialului și dimensiunile extrem de mici ale golu-

a)

b)



c)

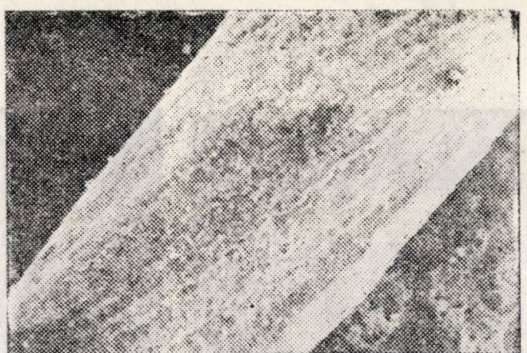


d)

e)

Fig. 12 a . . .e. Micrografii ale materialului tubului metalic al barei de încălzire I. Electromureș Tg. Mureș — INMT București.

a)



b)

c)

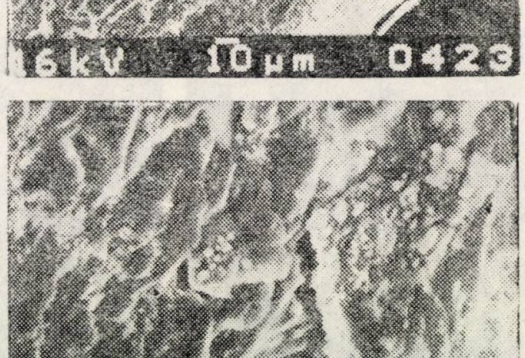
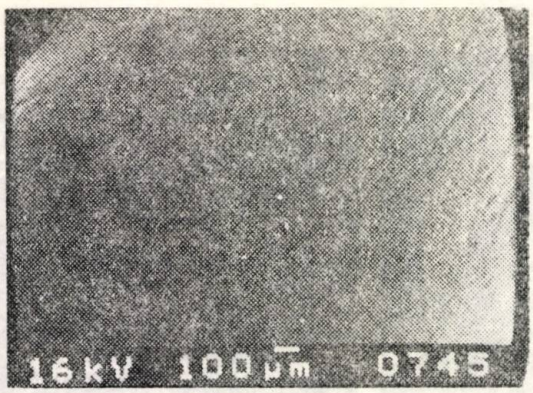
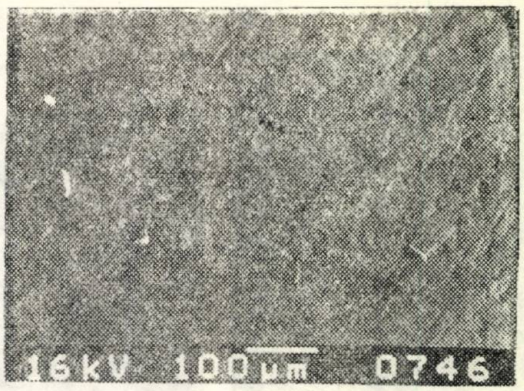


Fig. 13 a . . .c. Micrografii ale sîrmei rezistive a barei de încălzire I. Electromureș Tg. Mureș — INMT București.

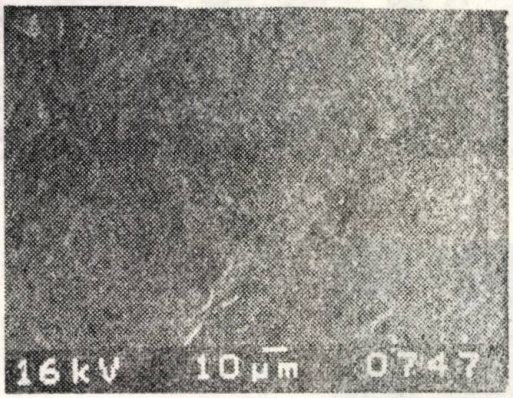
a)

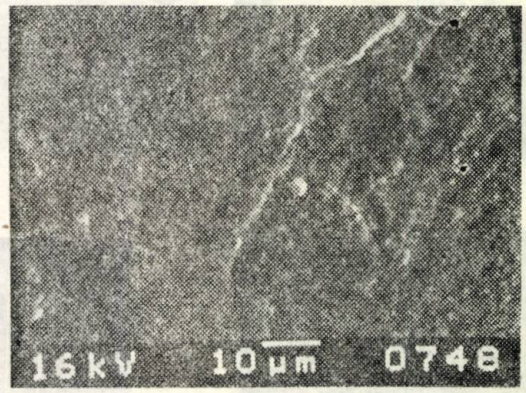




b)

c)



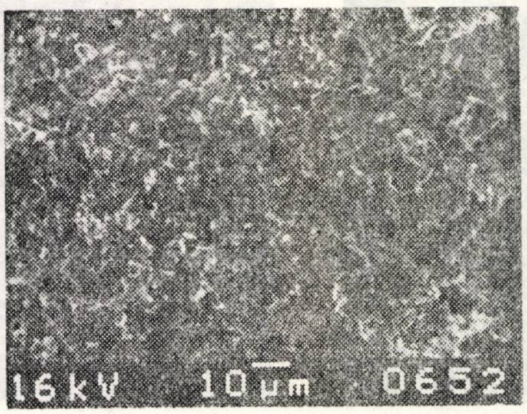


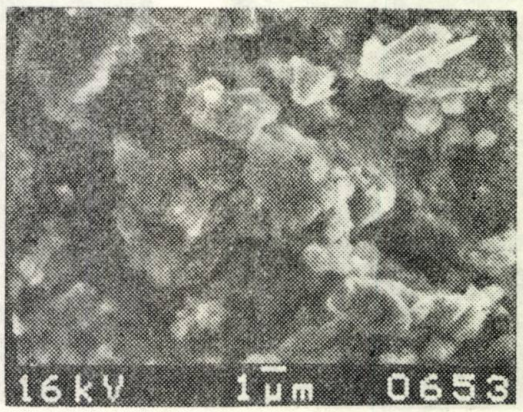
d)

e)

Fig. 14 a . . . e. Micrografii ale sîrmei bornelor de legăturile ale barei de încălzire I. Electromureş Tg. Mureş — INMT Bucureşti.

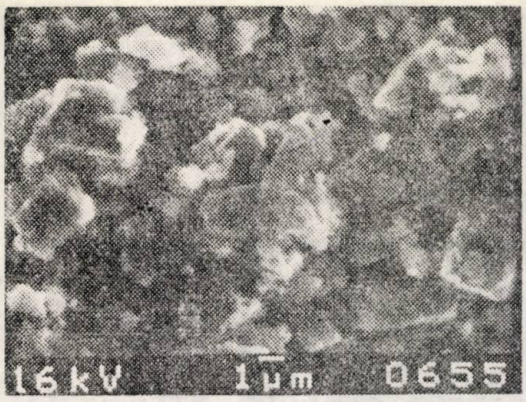
a)

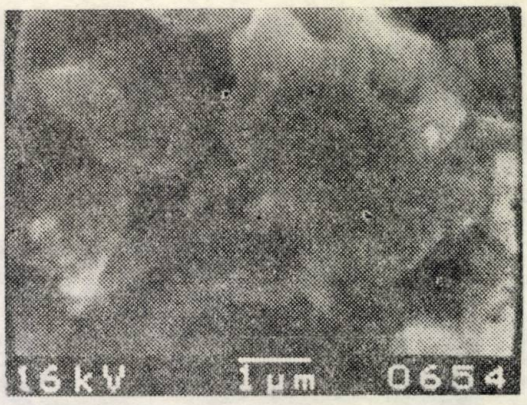




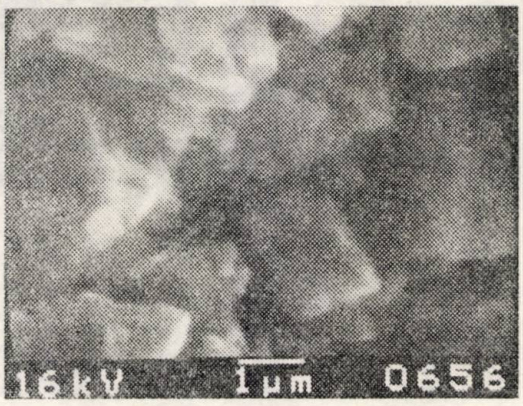
b)

Fig. 15 a, b

c) 



d)



e)

Fig. 15 a . . .e. Micrografii ale materialului electroizolant al barei de încălzire I. Electromureș Tg. Mureș — INMT București.

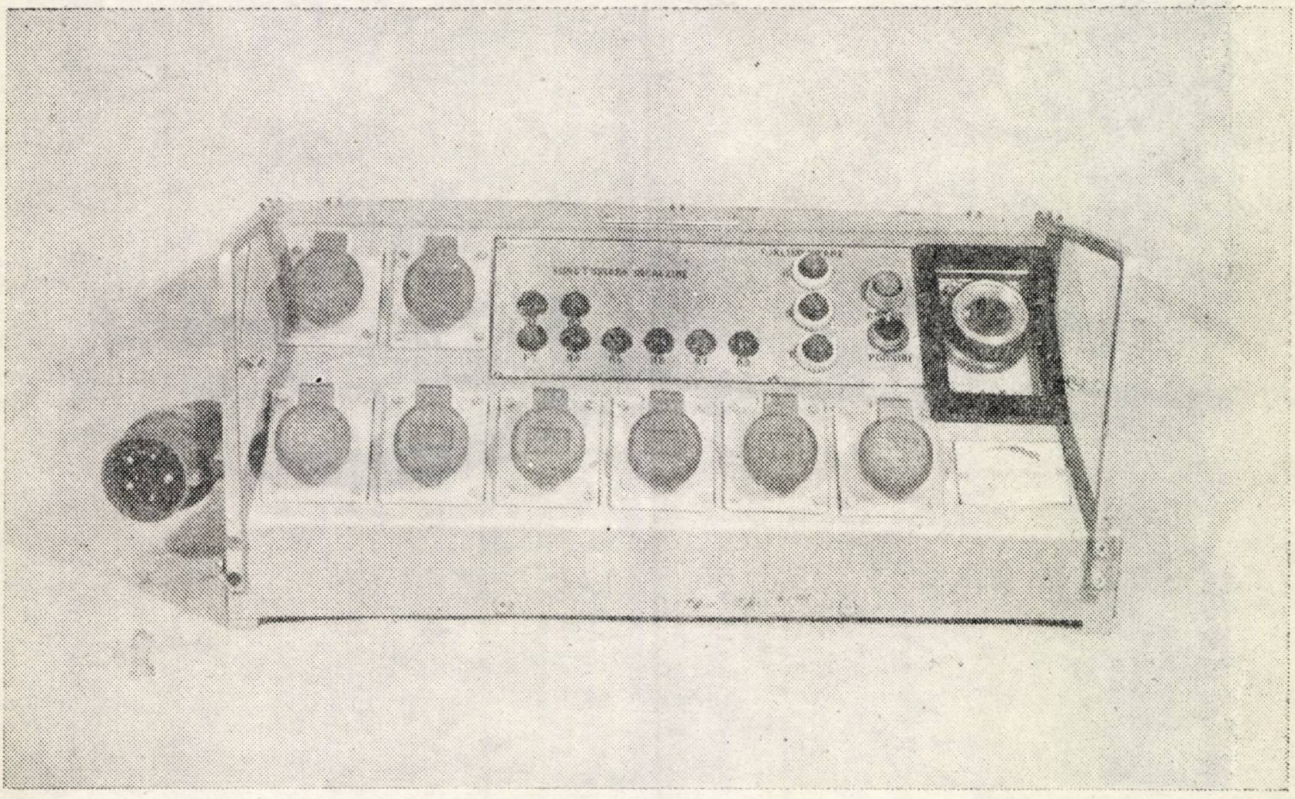


Fig. 16. Vedere frontală a cutiei de comandă a instalației pentru încălzirea șuruburilor chiulasei.

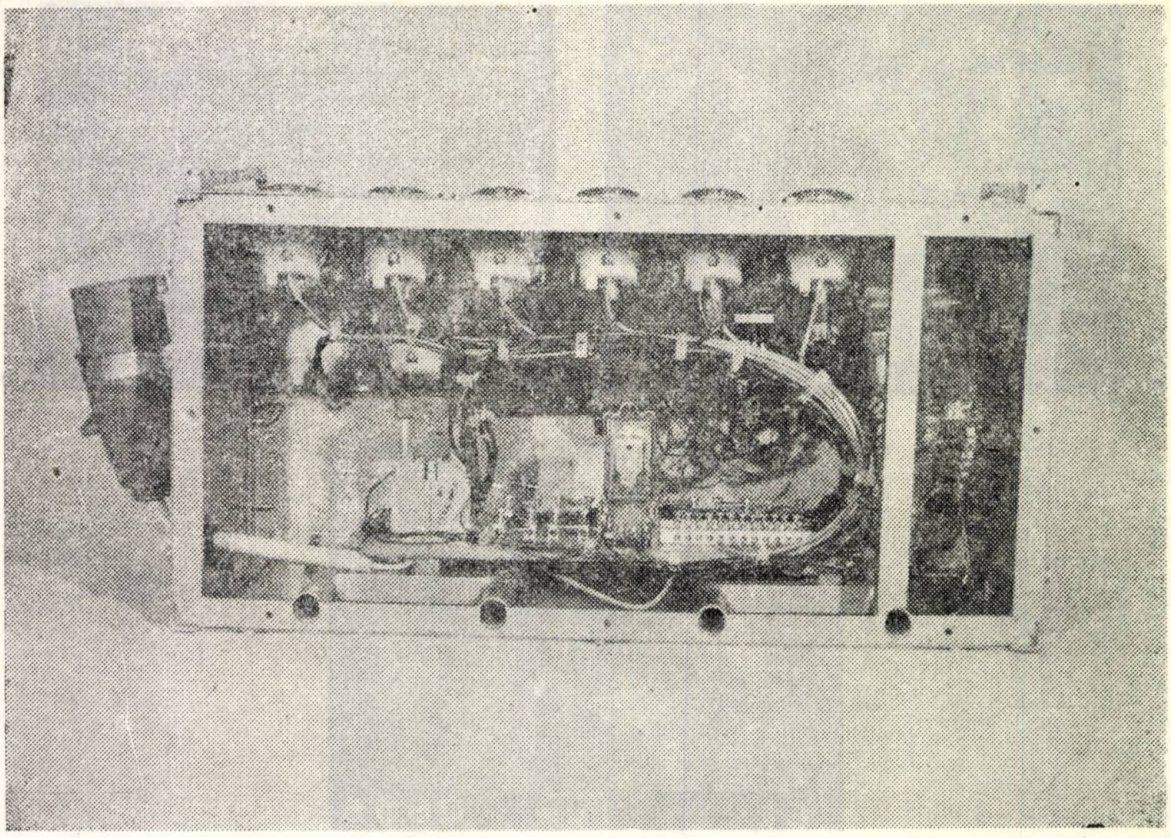


Fig. 17. Vedere din spate a cutiei de comandă a instalației pentru încălzirea șuruburilor chiulasei.

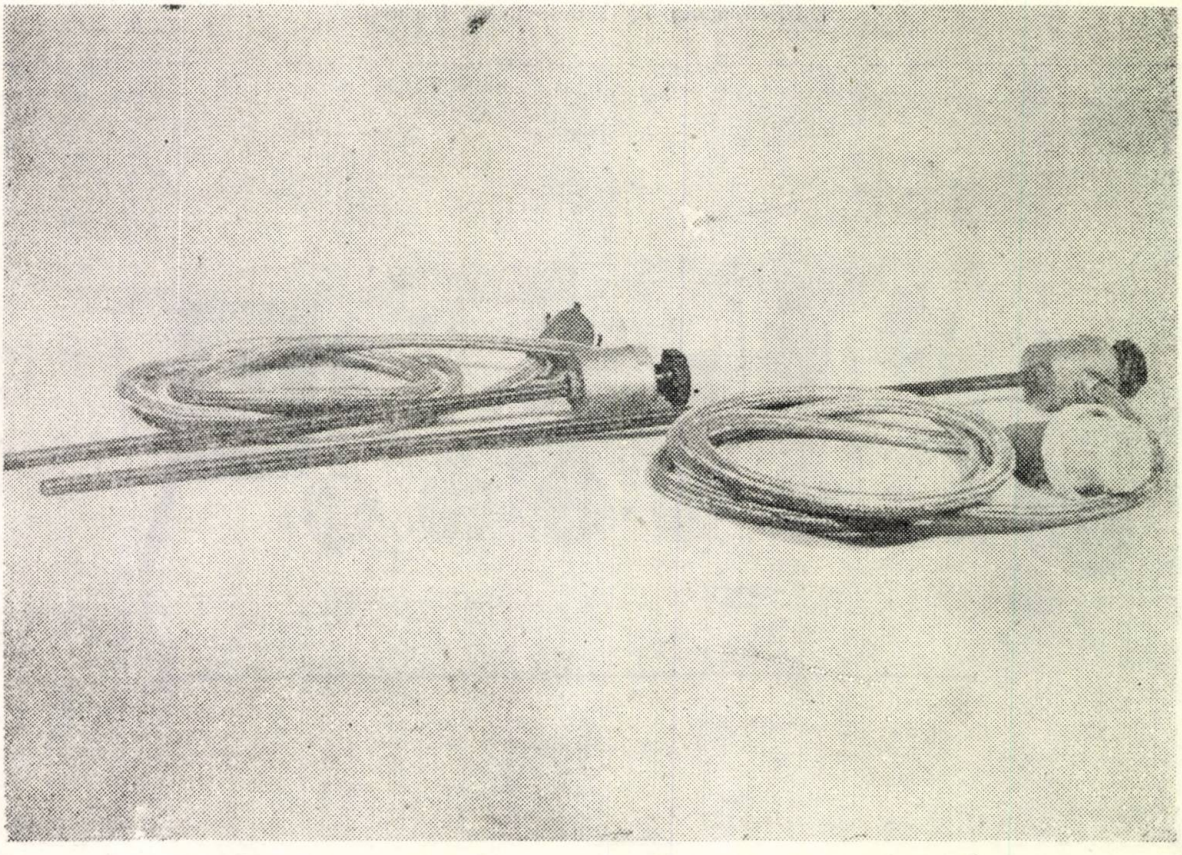


Fig. 18. Barele de încălzire ale instalației pentru încălzirea șuruburilor chiulasei.

rilor de aer, ceea ce explică valorile foarte ridicate ale rezistenței de izolație, cît și comportarea deosebită în ceea ce privește rigiditatea dielectrică.

Structura prezentată, cu densitate de goluri mică și dimensiuni foarte reduse, asigură valoarea optimă a coeficientului de conductibilitate termică, deci condiții bune pentru răcirea spiralei rezistive.

Din analiza comparativă a materialului electroizolant din bara electrică de încălzire realizată la I. Electromureș—Tg. Mureș, față de bara electrică de încălzire Gerus-Augsburg, se constată ușor calitatea mult mai bună a compactării materialului electroizolant din produsul indigen, și de aici o calitate superioară a produsului românesc față de produsul străin.

7. Concluzii

Instalația pentru încălzirea șuruburilor chiulasei motoarelor diesel navale din producția I.C.M.-Reșița, a fost omologată în faza de prototip la I.N.M.T. București.

Trebuie subliniat faptul că, din experiența dobîndită în realizarea barelor de încălzire a acestei instalații, se consideră posibilă și realizarea altor variante de lungime a barelor de încălzire, dar cu : $\Phi_{min} = 13$ mm, iar : L_{max} bară de încălzire = 1 000 mm, restricții rezultate din tehnologia utilizată în execuția barelor de încălzire.

În figurile 16, 17, 18 este prezentată instalația de încălzire realizată la I.N.M.T., și anume, în figura 16 o vedere frontală a cutiei de comandă, în figura 17 o vedere din spate a cutiei de comandă (cu capacul spate dat jos), iar în figura 18 sînt prezentate barele de încălzire în cele două variante de putere debitată (1 000 W și 1 200 W), aferente instalației de încălzire.

Menționăm că, în prezent I.N.M.T. și I. Electromureș Tg. Mureș analizează posibilitatea realizării unor bare electrice de încălzire pornind de la un tub metalic de diametru $\Phi 8$ mm $\times$ 0,5 mm pentru a elimina din procesul tehnologic prezentat operația nr. 8, deci rezultînd un proces tehnologic mai economic.

Bibliografie

[1] *Lazăr, T., Petre, N.* Elemente încălzitoare electrice în tuburi metalice, Ed. Tehnică, București, 1982.

[2] * * * STR-MIM 501—85 : Sîrme și bare pentru rezistențe electrice din oțeluri crom-aluminiu și crom-nichel. Condiții tehnice generale de calitate.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ȘI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) București. Articolele propuse spre publicare și cererile de abonamente se vor trimite la redacția revistei, București, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 și 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poștal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, București, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unități industriale și instituții, ca și pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export — import presă — București — Calea Griviței nr. 64—66. P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea Poligrafică „Informația“
București, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2134

E 2040/1

ETE

Referative

1988 AUG 30

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 36 • NR. 4 • MAI • 1988

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ANUL 36 Nr. 4 mai 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.318.2:621.3.014.3

MAGNEŢI PERMANENŢI
DISPOZITIV ELEVATOR
IMPULSURI DE CURENT

Constantin, E.: **Dispozitiv elevator cu magneţi permanenţi.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, mai 1988, p. 131

În lucrare se studiază un nou dispozitiv elevator, destinat manevrării unor sarcini feromagnetice. Utilizarea magneţilor permanenţi în acest scop prezintă mai multe avantaje în comparaţie cu instalaţiile cu electromagneţi. Se prezintă contribuţiile originale privind îmbunătăţirea parametrilor şi a blocului de alimentare şi comandă. Dispozitivele şi circuitul de comandă au fost realizate şi încercate. Rezultatele experimentale obţinute confirmă pe deplin consideraţiile teoretice.

CZ 621.366:621.317.72

SISTEME DE APRINDERE ELECTRONICĂ
CIRCUITE DE IMPULSURI

Creţu, A. V.: **Sistem de aprindere electronică pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă (ciclul Stirling)**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, mai 1988, p. 135

Se prezintă în lucrare un original sistem de aprindere electronică pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă (ciclul Stirling), sistem realizat cu componente electronice şi electrotehnice indigene, de o mare simplitate. Sistemul a fost elaborat atît pentru varianta staţionară, cît şi pentru varianta nestaţionară şi a fost brevetat în anul 1986 cu Brevetul de Invenţie RSR. nr. 91626/86.

CZ 621.316.7

REGULATOR NUMERIC
MICROPROCESOR

Nitu, I. C.: **Regulator numeric specializat realizat cu microprocesor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, mai 1988, p. 138

Lucrarea se referă la regulatoare numerice cu microprocesoare realizate pentru comanda elementelor de execuţie cu tiristoare. Aceste dispozitive, avînd la bază microprocesorul 8080 au fost experimentate la unele sisteme de reglare a temperaturii la două procese termice de pe o maşină tipografică. Regulatoarele realizate au aplicabilitate în reglarea temperaturii din cuptoare electrice şi în diferite alte procese industriale, avînd avantajul unor importante economii de energie (circa 6% din consumul curent).

CZ 621.316:681.5

CIRCUITE LOGICE
ANALIZĂ ASISTATĂ DE CALCULATOR
METODĂ SIMBOLICĂ

Poşa, C.: **Analiza asistată de calculator a circuitelor logice utilizînd metoda simbolică.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, mai 1988, p. 141

Lucrarea prezintă metoda „simbolică" de analiză a circuitelor logice (numerice) şi modul de abordare a acesteia pentru implementarea pe un calculator electronic, numeric, cu rezultate asupra unor circuite integrate cunoscute (CDB 473), pentru evidenţierea imediată a avantajelor utilizării calculatorului.

CZ 005—007.2

CONTROL CALITATE

Hârşovescu, P. C., Iliescu, G.: **Spre „cercuri pentru controlul calităţii" viabile în România.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, mai 1988, p. 145

Se expun aspecte din activitatea cercurilor pentru controlul calităţii, organisme care au devenit un fenomen de masă în Japonia, tinzînd să se extindă şi în alte ţări ale lumii printre care şi ţara noastră. Sînt prezentate modalităţile de organizare şi funcţionare ale acestora în diferite ţări, rezultatele obţinute şi greşelile efectuate, pentru ca prin comparaţie să se reliefeze calea ce trebuie urmată în vederea obţinerii unor rezultate eficiente.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof.dr. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HÂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; prof. dr. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor responsabil adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.318.2:621.3:014.3

ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ
УСТРОЙСТВО-ЭЛЕВАТОР
ТОКОВЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Константин, Е.: **Устройство-элеватор с постоянными магнитами.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 4, май 1988 г., стр. 131

В работе исследуется новое устройство-элеватор, предназначенное маневрированию ферромагнитных нагрузок. Использование постоянных магнитов в этой цели представляет большое преимущество в сравнении с установками с электромагнитами. Представляются оригинальные вклады относительно улучшения параметров, а также блока питания и управления. Устройства и цепь управления были уже осуществлены и испытаны. Экспериментальные результаты полностью утверждают теоретические соображения.

УДК 621.366:621.317.72

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАЖИГАНИЯ
ИМПУЛЬСНЫЕ ЦЕПИ

Крецу, А. В.: **Системы электронного зажигания для камеры сгорания двигателей внешнего сгорания (цикл Стирлинга).**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36,** № 4, май 1988 г., стр. 135

В работе представляется оригинальная система электронного зажигания для камеры сгорания двигателей внешнего сгорания (цикл Стирлинга), на основе электронных и электротехнических румынских компонентов большой простоты. Система была расчитана как для стационарного, так и для нестационарного варианта. Система была патентирована в 1986 г. с патентом изобретения СРР нр. 91626/86.

УДК 621.316.7

ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР
МИКРОПРОЦЕССОР

Нитy, И. К.: **Цифровой регулятор специализированный на основе микропроцессора.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36,** № 4, май 1988 г., стр. 138

Работа относится к цифровым регуляторам с микропроцессорами, осуществленными для управления исполнительных элементов с тиристорами. Эти устройства, имея на основе микропроцессор 8080 были испытаны в некоторых системах воспроизведения температуры при двух термических процессах, с типографической машины. Осуществленные регуляторы имеют применяемость в регулировании температуры из электропечей и в разных промышленных процессах из-за важных экономий энергии (приблизительно 6% из текущего расхода).

УДК 621.316.681.5

ЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
АНАЛИЗ АССИСТИРОВАННЫЙ ЭВМ
СИМВОЛИЧЕСКИЙ МЕТОД

Поша, К.: **Анализ ассистированный ЭВМ логических цепей используя символический метод.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36,** № 4, май 1988 г., стр. 141

Работа представляет „символический" метод анализа логических (цифровых) цепей и способ подхода к ней для внедрения на цифровой ЭВМ, с результатами по некоторым известным цепям (СДВ 473) с целью скорого уточнения преимуществ использования ЭВМ.

УДК 005—007.2

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА

Хыршовеску, П. К., Илиеску, Г.: **К „кружкам для проверки качества", жизнеспособным в С. Р. Румынии.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36,** № 4, май 1988 г., стр. 145

В работе представляются аспекты из деятельности кружков для проверки качества, организмы которые стали массовым феноменом в Японии, стремящиеся распространяться и в других странах мира среди которых находится и наша страна.

Излагаются типы организмов и способы их функционирования в разных странах, полученные результаты и осуществленные ошибки, чтобы уточнить при помощи сравнения путь который должен быть пройден с целью получения эффективных результатов.

INHALT

DK 621.318.2:621.3.014.3

DAUERMAGNET
HEBEVORRICHTUNG
STROMIMPULSE

Constantin, E.: **Hebevorrichtung mit Dauermagneten.**

E.E.A.—**Electrotehnica 36,** Nr. 4, Mai 1988, S. 131

Es wird eine neue Hebevorrichtung zum Antrieb ferromagnetischer Lasten untersucht. Die Anwendung der Dauermagneten zu diesen Zweck bietet mehrere Vorteile im Vergleich zu den Anlagen mit Elektromagneten. Zugleich wird der originelle Beitrag hinsichtlich der Verbesserung. der Parameter und des Speise- und Steuerblocks, gewiesen. Die Vorrichtungen und der Steuerkreis wurden ausgeführt und auf die Probe gestellt. Die erfahrungsmässigen Ergebnisse bestätigen vollständig die theoretischen Überlegungen.

DK 621.366:621

ELEKTRONISCHE ZUNDANLAGE
IMPULSKREISLAUF

Creţu, A. V.: **Elektronische Zundanlage für die Brennkammer der Motoren mit Außenverbrennung (Stirlingzyclus).**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 4, Mai 1988, S. 135

In vorliegendem Bericht wird ein original elektronisches für die Brennkammer der Motoren mit Ausenverbrennung (Stirlingzyclus) vorgestellt, das aus elektronischen einheimischen Bauteilen grosser Einfachheit besteht. Das System ist sowohl für die Stationarvariante, als auch für die nichtstationare ausgelegt worden.

Das System erhielt Gültigheit durch das Erfinderzeugnis S.R.R. No. 91626/86 im Jahr 1986.

DK 621.316.7

DIGITALGEBER
MIKROPROZESSOR

Nitu, I. C.: **Spezialisierter Digitalgeber mit Mikroprozessor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 4, Mai 1988, S. 138

Die Arbeit bezieht sich auf Digitalregler mit Mikroprozessoren die zur Steuerung der Wirkglieder mit Thyristoren hergestellt sind. Diese Vorrichtungen, die sich auf dem Mikroprozessor 8080 gründen, wurden an Temperaturwiedergabesystemen in zwei thermischen Vorgängen an einer typographischen Maschine, versuchsweise angewendet.

Die ausgeführten Regler sind zur Temperaturreglung in Elektroöfen und verschiedene andere industrielle Prozesse, anwendbar. Durch sie werden wesentliche Energieeinsparungen erzielt (ungefähr 6% vom laufenden Verbrauch).

DK 621.316.681.5

LOGISCHE KREISE
RECHNERUNTERSTÜTZTE ANALYSE
SYMBOLISCHES VERFAHREN

Poşa, C.: **Rechenrunterstützte Analyse logischer Kreise anhand symbolischen Verfahrens.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 4, Mai 1988, S. 141

Es wird ein symbolisches Verfahren für die Analyse logischer Kreise (digitaler) und dessen Behandlungsart zur Verwirklichung an einem digitalen Elektronenrechner mit den Ergenissen bekannter integrierten Schaltungen (CDB 473) zur sofortigen Auszeichung der Anwendungsvorteile des Rechners, dargestellt.

DK 005—007.2

QUALITÄTSKONTROLLE

Hârşovescu, P. C., Iliescu, G.: **In Rumänien bestehende „Qualitätskontrollvereine.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 4, Mai 1988, S. 145

Es werden Aspekte aus der Tätigkeit der Qualitätskontrollvereine, Organismen die in Japan eine massenhafte Erscheinung sind und neigen sich auch in anderen Ländern der Welt, unter denen auch unser Land, zu erweitern, dargelegt. Weiterhin werden die Arten der Organismen und deren Arbeitsweise in verschieden Länder dargestellt, indem man die erzielten Ergebnisse und begangene Fehler aufzeigt um vergleichsweise die richtige Lösung für erfolgreiche Ergebnisse zu finden.

CONTENTS

DC 621.318:621.3.014.3

PERMANENT MAGNETS
ELEVATING DEVICE
CURRENT IMPULSES

Constantin, E.: **Elevating device with permanent magnets.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 4, May 1988, p. 131

The paper studies a new elevating device that handles ferromagnetic loads. The application of permanent magnets has several advantages as compared to electromagnetic installations. Original contributions to the improvement of parameters and the supply and control blocks are given. The device and the control circuit were manufactured and tested. Experimental results show an exact agreement with theoretical considerations.

DC 621.366:621.317.72

ELECTRONIC IGNITION SYSTEMS
IMPULSE CIRCUITS

Creţu, A. V.: **Electronic ignition systems for the combustion chamber of external-burning (Stirling Cycle) engines.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, May 1988, p. 135

This paper presents an original electronic ignition system for the combustion chamber of the external burning engines (Stirling cycle). The system has been realised with our own electronic and electrotechnical components having an extremely simple structure. This system has been elaborated both for the stationnary and unstationnary type.

The system was patented in 1986 with the "R.S.R. Patent No. 91626/86".

DC 621.316.7

DIGITAL REGULATOR
MICROPROCESSOR

Nitu, I. C.: **Specialized digital regulator with microprocessor.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, May 1988, p. 138

The work refers to digital regulators with microprocessor designed for the control of thyristor operational elements. These devices based on 8080 microprocessor were under experiment in several systems of temperature reproduction in two thermal processus on a printing machine. Regulators have applications in temperature control in electrical ovens and other industrial processes with the advantage of important energy savings (about 6% for the actual consumption).

DC 621.316.681.5

LOGIC CIRCUITS
COMPUTER-AIDED ANALYSIS
SYMBOLIC METHOD

Poşa, C.: **Computer-aided analysis of logic circuits using symbolical method.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, May 1988, p. 141

The paper introduces the „symbolical" analysis of digital logic circuits and its approach to the implementation on a digital computer, with some results of known integrated circuits (CDE 473), in order to give an immediate recognition of the advantages in computer utilization.

DC 005—007.2

QUALITY CONTROL

Hârşovescu, P. C., Iliescu, G.: **To „Quality Control Groups" in Romania.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, May 1988, p. 145

There are shown several aspects of the activity of quality control groups, a mass-phenomenon in Japan, that tends to be extended to other countries. Romania included, as well. There are shown several types of organization and their operation in various countries results obtained and mistakes made, to give by means of comparison the way to follow in view of getting efficient results.

SOMMAIRE

CD 621.318.2:621.3.014.3

AIMANTS PERMANENTS
DISPOSITIF ÉLÉVATEUR
IMPULSIONS DE COURANT

Constantin, E.: **Dispositif élévateur à aimants permanents.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 4, mai 1988, p. 131

Dans ce travail on étudie un nouveau dispositif élévateur pour charges ferromagnétiques. L'emploi des aimants permanents dans ce but présente plusieurs avantages par rapport aux installations à électro-aimants. On y souligne les contributions originales concernant l'optimisation des paramètres et du bloc d'alimentation et de commande. Les dispositifs et le circuit de commande ont été réalisés et essayés. Les résultats expérimentaux obtenus sont tout à fait conformes aux considérations théoriques.

CD 621.366:621.72

SYSTEMES D'ALLUMAGE ÉLECTRONIQUE
CIRCUITS D'IMPULSIONS

Creţu, A. V.: **Système d'allumage électronique pour la chambre de combustion des moteurs à combustion externe (cycle Stirling).**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, mai 1988, p. 135

Dans ce travail on décrit un système original d'allumage électronique pour la chambre de combustion des moteurs à combustion externe (cycle Stirling), système réalisé à l'aide de composants électroniques et électrotechniques d'une grande simplité, fabriqués en Roumanie. Le système a été élaboré aussi bien pour la variante stationnaire que pour la variante non-stationnaire. Il a été breveté en 1986 par le Brevet d'Invention RSR no. 91626/86.

CD 621.316.7

RÉGULATEUR DIGITAL
MICROPROCESSEUR

Nitu, I. C.: **Régulateur digital spécialisé réalisé à l'aide d'un microprocesseur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, mai 1988, p. 138

Le travail se réfère aux régulateurs digitaux à microprocesseurs réalisés pour la commande des composants à thyristors. Ces dispositifs ayant à la base le microprocesseur 8080, ont été expérimentés à quelques systèmes de réglage de la température lors de deux processus thermiques caractéristiques à une machine d'imprimerie. Les régulateurs réalisés peuvent etre mis en oeuvre pour régler la température des fours électriques et lors d'autres processus industriels différents, ayant l'avantage d'une économie d'énergie considérable (environ 6% de la consommation courante).

CD 621.316:681.5

CIRCUITS LOGIQUES
ANALYSE ASSISTEE PAR ORDINATEUR
MÉTHODE SYMBOLIQUE

Poşa, C.: **L'analyse assistée par ordinateur des circuits logiques employer la méthode symbolique.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, mai 1988, p. 141

Dans ce travail on présente la méthode „symbolique" d'analyse des circuits logiques (digitaux) et la modalité d'approche de celle-ci afin de l'employer avec un ordinateur électronique numérique; on y souligne les résultats obtenus dans l'analyse des circuits intégrés connus (CDE 473) pour mettre en évidence les avantages de l'emploi de l'ordinateur.

CD 005—007.2

CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Hârşovescu, P. C., Iliescu, G.: **Vers les „cercles pour le contrôle de la qualité" en Roumanie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 4, mai 1988, p. 145

On y expose des aspects de l'activité des cercles pour le contrôle de la qualité, organismes devenus un phénomène de masse au Japon, à tendances d'extension dans d'autres pays du monde, parmi lesquels notre pays. On y présente les modalités d'organisation et de fonctionnement de ceux-ci en divers pays, les résultats obtenus et les erreurs commises afin de mettre en évidence, comparativement, la voie qu'on doit suivre pour obtenir des résultats efficaces.

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 4

CZ 621.318.2:621.3.014.3

MAGNEŢI PERMANENŢI
DISPOZITIV ELEVATOR
IMPULSURI DE CURENT

Dispozitiv elevator cu magneţi permanenţi

EMA CONSTANTIN* — TIMIŞOARA

Introducere

Utilizarea magneţilor permanenţi la realizarea unor dispozitive elevatoare pentru manevrarea unor sarcini feromagnetice pare deosebit de avantajoasă, în comparaţie cu cele care utilizează electromagneţi, în principal datorită atît faptului că nu se consumă energie electrică pe toată perioada de transportare a sarcinii, cît şi a siguranţei mari în funcţionare. Cu toate acestea nu s-au realizat pînă în prezent sisteme pentru forţe de prindere mari, din cauza dificultăţilor ce apar la efectuarea comenzilor pentru prinderea, respectiv eliberarea, sarcinii. Acestea ar trebui efectuate prin magnetizarea, respectiv demagnetizarea magnetului permanent, ultima operaţie fiind îndeosebi complexă, neexistînd metode de demagnetizare operative.

Dispozitivele elevatoare studiate în lucrare elimină aceste dezavantaje, necesitînd doar schimbarea sensului de magnetizare la un magnet permanent, magnetizare ce se poate comanda printr-un impuls de curent. Performanţele dispozitivului se pot îmbunătăţi prin utilizarea unei a doua bobine, denumită de menţinere, şi printr-o proiectare optimală a circuitului feromagnetic. Instalaţia de alimentare şi comandă proiectată şi realizată permite o comandă operativă, întregul ansamblu prezentînd o siguranţă mare în exploatare, fără a mai fi necesară o sursă de alimentare de rezervă, ca la instalaţiile cu electromagneţi.

1. Principiul de funcţionare a dispozitivului elevator cu magneţi permanenţi, posibilităţi de îmbunătăţire a performanţelor

Dispozitivul elevator se compune din doi magneţi permanenţi şi două piese polare (fig. 1). Pe unul din magneţi este dispusă o bobină, utilizată pentru comanda dispozitivului. Printr-un impuls de curent prin bobina de magnetizare se realizează magnetizarea celor doi magneţi, ca în figura 1 a, cîmpul magnetic se închide doar în interiorul dispozitivului, cei doi magneţi fiind în serie, sub tălpile polare, cîmpul magnetic este nul. Apropiind dispozitivul de piesa feromagnetică, care urmează să fie manevrată, nu se schimbă spectrul cîmpului magnetic, asupra sarcinii nu acţionează o forţă. Pentru a prinde piesa trebuie schimbat sensul de magnetizare la unul din magneţii permanenţi, printr-un impuls de curent prin bobină, astfel încît cei doi magneţi să fie în paralel (fig. 1.b), iar cîmpul magnetic produs să se închidă prin sarcină, asupra căreia va acţiona o forţă. Situaţia din figura 1 b se menţine şi după încetarea comenzii, fără alt consum de energie electrică, astfel că, piesa va putea fi manevrată. Comanda pentru eliberarea sarcinii se obţine printr-un impuls de curent de sens contrar, adică se revine la situaţia din figura 1 a, cu magneţii conectaţi în serie şi forţă zero asupra sarcinii. Principiul de funcţionare a sistemului, prezentat în [1, 2], este relativ simplu, dar funcţionează satisfăcător doar dacă se lucrează la magneţii permanenţi cu inducţii permanente relativ mici. În cazul unei magnetizări puternice, aproape de valoarea inducţiei remanente, în situaţia din figura 1 b o parte din liniile cîmpului magnetic, ale magnetului comandat, se închid prin magnetul

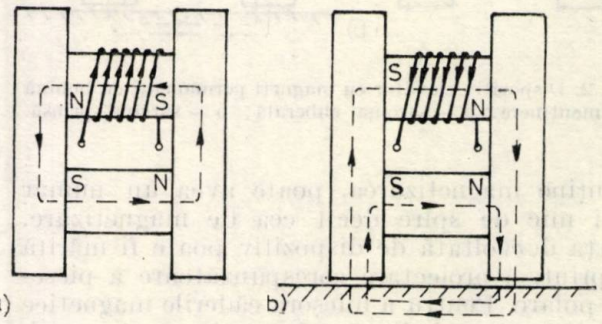


Fig. 1. Dispozitiv elevator cu magneţi permanenţi: a — situaţia pentru eliberarea sarcinii; b — situaţia la prinderea sarcinii.

* Conf. dr. ing. Constantin, E. — Institutul Politehnic „Traian Vuia" — Timişoara.

de jos și-l demagnetizează, astfel că inducția magnetică totală la suprafața sarcinii scade și, în consecință, scade și forța de prindere. La comanda pentru desprinderea sarcinii, magneții permanenți fiind diferit magnetizați, rămîne un cîmp magnetic diferit de zero la suprafața sarcinii, astfel că aceasta nu se desprinde ușor.

Dificultățile prezentate pot fi eliminate prin plasarea unei a doua bobine, și anume pe magnetul permanent necomandat, cu rolul de a menține magnetizarea acestuia, denumită bobină de menținere [3]. În figura 2 este reprezentată schematic funcționarea dispozitivului. Prin utilizarea bobinei de menținere se poate proiecta dispozitivul pentru inducții permanente mari, avînd drept efect creșterea inducției magnetice și a forței la suprafața sarcinii. Aceasta de a doua bobină, avînd rolul de a

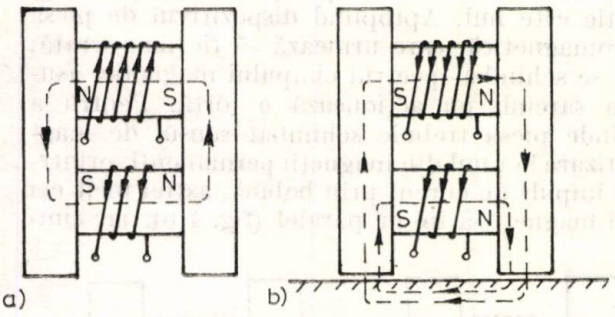


Fig. 2. Dispozitiv elevator cu magneți permanenți cu bobină de menținere: a — sarcina eliberată; b — sarcina prinsă.

menține magnetizarea, poate avea un număr mai mic de spire decît cea de magnetizare. Forța dezvoltată de dispozitiv poate fi mărită și printr-o proiectare corespunzătoare a pieselor polare. Pentru a micșora căderile magnetice pe acestea este indicat ca în secțiunea $S_p = a \cdot l$, să rezulte o inducție magnetică mică, dar la suprafața sarcinii aceasta să fie mare. Din expresia aproximativă a forței asupra piesei feromagnetice :

$$F = \frac{1}{2\,\mu_0} B_0^2 \cdot 2S_0 = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Phi_0^2}{S_0} = \frac{1}{\mu_0} = \frac{\Phi_0^2}{a_0 l}, \qquad (1)$$

în care s-a notat cu S_0 suprafața de contact între piesa polară și sarcină, se observă că la un flux magnetic Φ_0 dat, se poate mări forța micșorînd secțiunea S_0, adică prin concentrarea liniilor de cîmp magnetic, de exemplu, prin teșirea piesei polare (fig. 3).

Metoda de proiectare a dispozitivului este prezentată în [1, 4, 5], atît în ceea ce privește alegerea punctului de funcționare pe curba de demagnetizare a magneților permanenți, alegerea dimensiunilor pentru piesele polare, cît și determinarea parametrilor bobinelor.

2. Circuitul de alimentare și comandă

Prin impulsul de curent, necesar pentru schimbarea sensului de magnetizare la un magnet

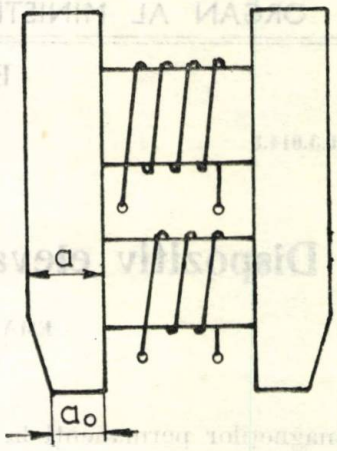


Fig. 3. Forma pieselor polare pentru mărirea forței.

permanent, trebuie să se realizeze o intensitate de cîmp magnetic de 3—5 ori cît valoarea cîmpului coercitiv, pe o durată suficientă ca magnetizarea să se producă uniform în tot volumul magnetului. O soluție avantajoasă este obținerea impulsului de curent direct de la rețeaua de joasă tensiune utilizînd tiristoare comandate. Schema folosită pentru alimentarea celor două bobine este reprezentată în figura 4, în care L_1

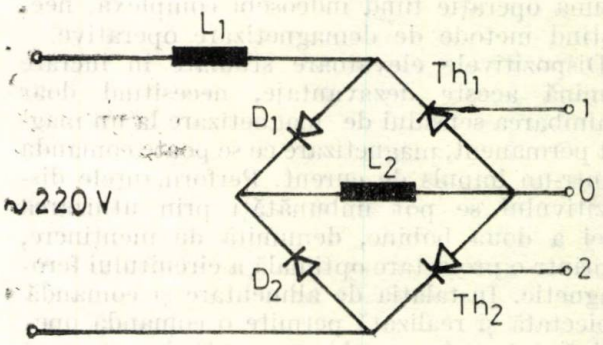


Fig. 4. Schema circuitului de alimentare.

reprezintă bobina de magnetizare iar L_2 bobina de menținere, prin care nu se schimbă sensul curentului. Prin comanda tiristorului T_1 sau T_2 se schimbă sensul curentului prin bobina de magnetizare, adică se comandă prinderea sau eliberarea sarcinii. În orice moment unul din tiristoare este polarizat direct, iar celălalt invers, comandînd ambele tiristoare; numai cel polarizat direct va conduce, celălalt rămîne blocat, astfel că este suficient un singur circuit de comandă, fără a fi necesară comutarea comenzii de pe un tiristor pe celălalt.

Schema de comandă a tiristoarelor este astfel concepută încît să permită o deservire

simplă, comanda de prindere respectiv eliberare fiind efectuată de la două butoane. Alimentarea circuitului de comandă se face de la aceeași sursă ca și cel de forță, pentru a permite realizarea sincronizării corecte a comenzii. Schema-bloc a circuitului de comandă este repre-

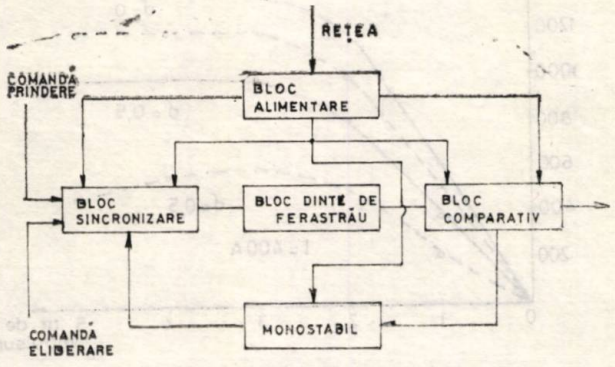


Fig. 5. Schema-bloc a circuitului de comandă.

zentată în figura 5. Pentru a obține un singur impuls este prevăzută o reacție printr-un monostabil. Durata impulsului poate fi modificată pe intervalul unei semiperioade, adică 10 ms. Valoarea de vîrf a impulsului trebuie să fie relativ mare, de ordinul sutelor de A, fiind însă de scurtă durată, rețeaua de alimentare nu trebuie să aibe o putere instalată mare.

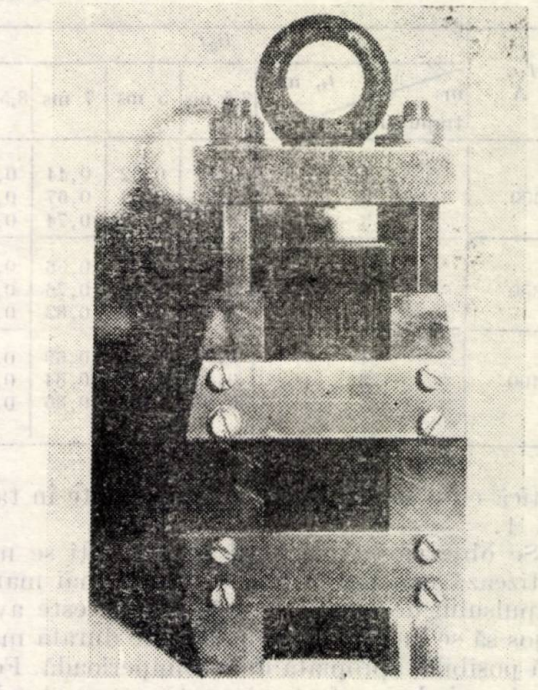
3. Încercări și rezultate experimentale

Pentru verificarea dispozitivului elevator și a circuitului de alimentare și comandă descrise, au fost proiectate două prototipuri, MPE-1 cu forța de desprindere de 5 kN și MPE-2 pentru 10 kN. Magneții permanenți de tip Alnico, de fabricație indigenă, au formă paralelipipedică ($26 \times 40 \times 48$ mm^3) și următoarele caracteristici: inducția remanentă $B_r = (1{,}3 - 1{,}25)$ T, cîmpul magnetic coercitiv $H_c = (58{,}9 - 55{,}7)$ kA/m și punctul de energie exterioară maximă $B_m = (1{,}1 - 1{,}05)$T, $H_m = (51 - 47)$kA/m. Dispozitivul MPE-1 are cîte doi magneți în paralel și dimensiunile polilor $a_0 = 23$ mm $a = 30$ mm, $l = 100$ mm, iar MPE-2 cîte șase magneți în paralel, $a_0 = 25$ mm, $a = 30$ mm și $l = 240$ mm. Dispozitivele prezentate în figura 6 au fost realizate la întreprinderea Electromotor din Timișoara.

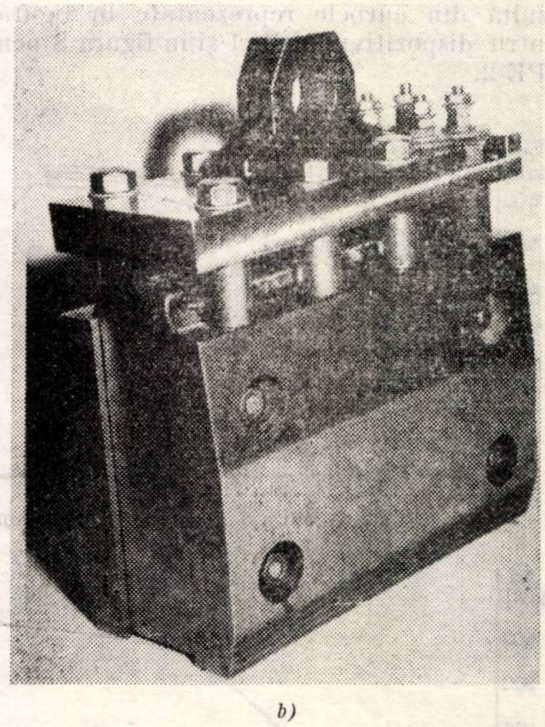
Circuitul de magnetizare se alimentează de la rețeaua de joasă tensiune și a fost proiectat pentru valoarea de vîrf a impulsului de curent de 2kA și o durată de 1—9 ms.

Încercările experimentale s-au referit la studiul influenței diferiților factori asupra valorii cîmpului magnetic din întrefierul de lucru și asupra forței de desprindere.

Astfel, s-a studiat dependența inducției magnetice B_0 de valoarea de vîrf a impulsului de



a)



b)

Fig. 6. Prototipurile dispozitivelor realizate:
a — MPE-1, $F_d = 5$ kN;
b — MPE-2, $F_d = 10$ kN.

curent, de durata acestuia și de numărul de impulsuri.

Rezultatele experimentale obținute la dispozitivul MPE-1, la un întrefier $\delta = 1{,}2$ mm, necesar pentru a putea măsura inducția mag-

Tabelul 1

I_V, A	B_0T				
	nr. impulsuri \ t_i, ms	3,5 ms	5 ms	7 ms	8,5 ms
300	1	0,17	0,32	0,44	0,5
	2	0,3	0,52	0,67	0,72
	3	0,34	0,62	0,74	0,82
350	1	0,25	0,42	0,56	0,64
	2	0,38	0,62	0,76	0,8
	3	0,48	0,72	0,83	0,86
400	1	0,34	0,56	0,69	0,7
	2	0,52	0,75	0,84	0,84
	3	0,63	0,83	0,86	0,86

netică cu o sondă Hall, sînt prezentate în tabelul 1.

Se observă că magneţii permanenţi se magnetizează mai uniform la o durată mai mare a impulsului de curent, adică, practic este avantajos să se lucreze cu impulsuri de durată maximă posibilă, apropiată de o semiperioadă. Forţa de desprindere a fost măsurată pe un stand de probă; dependenţa acesteia de valoarea curentului, de numărul de impulsuri şi de întrefier rezultă din curbele reprezentate în figura 7 pentru dispozitivul MPE-1 şi în figura 8 pentru MPE-2.

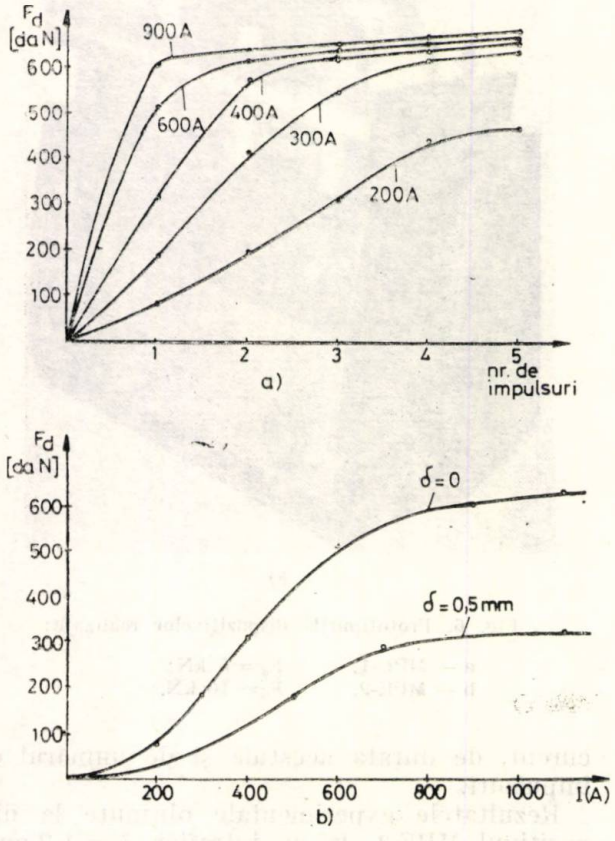


Fig. 7. Curbe de variaţie a forţei la MPE-1.

Pentru a evidenţia rolul bobinei de menţinere s-au efectuat măsurări şi fără aceasta, valorile măsurate ale forţei fiind reprezentate în figura 8 cu linie punctată pentru dispozitivul MPE-2.

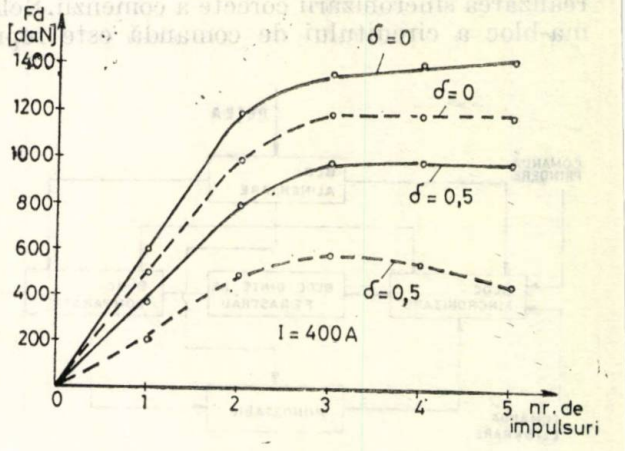


Fig. 8. Curbe de variaţie a forţei la MPE-2.

Din rezultatele experimentale obţinute se constată că la ambele dispozitive se obţine forţa de desprindere nominală, la primul impuls, la o valoare de vîrf de 600 A a curentului şi un întrefier de lucru egal cu zero. Inducţia magnetică la suprafaţa sarcinii este, în această situaţie la MPE-1, $B_{01} = 1{,}65$ T, respectiv $B_{02} = 1{,}44$ T la MPE-2. Dispozitivul de 10 kN a fost proiectat considerînd o solicitare mai mică a magneţilor permanenţi, adică o schimbare mai uşoară a sensului de magnetizare, de aceea $B_{02} < B_{01}$.

La ambele dispozitive se pot realiza şi forţe de desprindere mai mari, mărind valoarea impulsului de curent. Astfel, se obţine la un impuls de 1,2 kA la MPE-1, la $\delta = 0$, o forţă de 6,50 kN şi $B'_{01} = 1{,}88$ T, iar la MPE-2, 15 kN, la $B'_{02} = 1{,}77$ T. Inducţiile magnetice din magneţii permanenţi au în această situaţie, la MPE-1, valoarea $B_{f1} = 1{,}12$ T, iar la MPE-2, $B_{f2} = 0{,}92$ T.

4. Concluzii

Dispozitivele elevatoare cu magneţi permanenţi, avînd la bază principiul de funcţionare descris şi comandate cu impulsuri de curent obţinute prin comanda unui circuit cu tiristoare, sînt competitive cu cele care utilizează electromagneţi, prezentînd şi cîteva avantaje importante. Siguranţa în funcţionare a acestor dispozitive este mult mai mare, deoarece la o eventuală întrerupere a alimentării cu energie electrică sau a unor defecte în circuitul de alimentare, sarcina nu se desprinde, ne mai fiind necesare surse de alimentare de rezervă. Consumul de energie electrică este mult mai mic decît la electromagneţi. Instalaţiile cu magneţi permanenţi pot fi mai uşor adaptate pentru manevrarea unor piese calde.

Dispozitivul şi circuitul de alimentare şi comandă realizate au permis efectuare unor multi-

ple încercări experimentale, care au confirmat considerentele teoretice prezentate.

Dispozitivele pot fi proiectate și pentru forțe considerabil mai mari, nu numai prin mărirea secțiunii magneților permanenți, ci prin alăturarea mai multor circuite magnetice, de forma celui prezentat în figura 2 și conectarea în serie a bobinelor.

Bibliografie

[1] *Constantin, E., Constantin Gh.* Studiul teoretic și experimental al unui dispozitiv elevator cu magneți permanenți. Sesiunea de comunicări științifice, întreprinderea Electromotor Timișoara, aprilie 1986, vol. I — pag. 284—294.

[2] *Schneider, P.* Elektronische Steuerung für permanentmagnetischerregte Lasthebemagnetsysteme. Krupp. Forschungs Bericht 36 (1979) nr. 1, pag. 35—40.

[3] *Constantin, E., Constantin Gh.* Dispozitiv elevator cu magneți permanenți. Brevet de invenție. OSIM. nr. 91937 din 1985.

[4] *Schüler, K., Brinkmann K.* Dauermagnete. Werkstoffe und Anwendungen. Springer Verlag 1970.

[5] *Sliwinskaia, A. G.* Electromagniti i postoianîie magniti Editura Energia Moscova, 1972.

CZ 621.366:621.317.72

Sistem de aprindere electronică pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă (ciclul Stirling)

EUGEN VIOREL CREȚU * — BUCUREȘTI

În scopul aprinderii carburantului în camera de ardere a motoarelor Stirling se utilizează metode de aprindere prin scînteie sau aprindere prin aruncare de flacără (bujii incandescente). În cazul în care în camera de ardere se arde motorină sau un gaz (gaz metan, biogaz etc.) se utilizează aprinderea prin scînteie, caz la care se referă lucrarea de față.

Deoarece camera de ardere a motorului cu ardere externă (ciclul Stirling) este o cameră de ardere asemănătoare cu camera de ardere pentru motoare termice cu turbină (de avion), dar cu presiune de lucru mult scăzută, practic presiunea atmosferică, în prezent pentru acest tip de cameră de ardere se utilizează un sistem de aprindere electromagnetic prin scînteie relativ complicat și ancombrant și care, în plus, necesită în componența sa anumite echipamente deosebite din punct de vedere tehnologic. Acest sistem, denumit clasic, este prezentat în figura 1 (principial).

În figura 1 tensiunea de alimentare continuă U este aplicată prin intermediul ruptorului electromagnetic *1* al bobinei de inducție *2*, bobinei de inducție care generează tensiunea înaltă (secundară). Tensiunea secundară din secundarul bobinei de inducție *2* este redreată prin sistemul de redresare *3*, rezultînd o tensiune continuă, care produce încărcarea acumulatorului de energie capacitiv 4. Încărcarea acumulatorului de energie capacitiv *4* se efectuează pînă cînd tensiunea în punctul *A* față de masă, atinge o valoare care produce apariția unei descărcări a elementului de descărcare auxiliar *5* (care stabilește între contactele lui *5* un arc electric). Odată cu apariția arcului între contactele lui *5* se produce scînteie la bujia *6*.

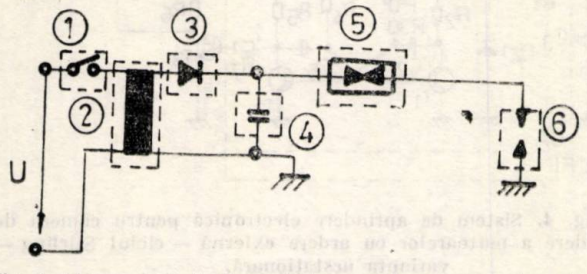


Fig. 1. Sistemul clasic de aprindere pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă (ciclul Stirling).

Din descrierea schemei se constată că, în schemă, intervin o serie de elemente de complexitate tehnologică ridicată, iar cele greu de realizat sînt elementul de descărcare auxiliar *5* și bujia *6*.

Elementul de descărcare auxiliar este, practic, un sistem de contacte în vid, tensiunea de apariție a arcului fiind determinată de distanța (reglabilă) dintre cei doi electrozi între care se produce descărcarea.

Un alt dezavantaj al schemei este existența unei bujii complicate din punct de vedere tehnologic, care este prezentată în figura 2. Se constată existența unei zone speciale în structura bujiei, discul marcat cu *B*, în figura 2, fiind un disc din material semiconductor, relativ complicat de realizat.

Sistemul propus

Noul sistem, prezentat în lucrarea de față, înlătură dezavantajele prezentate mai sus prin faptul că utilizează un sistem electronic special, de mare fiabilitate și, în plus, o bobină de aprindere obișnuită (utilizată în mod curent la sis-

* Ing. *Crețu E. V.* — Institutul Național de Motoare Termice — București.

temul de aprindere al motoarelor cu aprindere prin scînteie de pe autoturisme). Analog se utilizează o bujie cu scînteie utilizată frecvent pe motoarele cu aprindere prin scînteie.

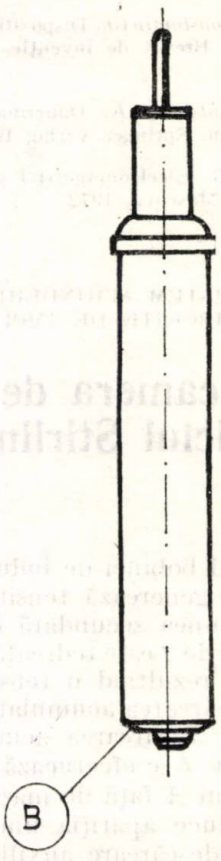


Fig. 2. Bujia de aprindere prin scînteie a amestecului carburant (componentă a sistemului de aprindere din figura 1).

În figurile 3 și 4 se dă un exemplu de realizare a sistemului electronic în discuție.

În varianta prezentată în figura 3 (varianta staționară) tot sistemul este alimentat de la rețeaua electrică de 220 V, 50 Hz, prin intermediul transformatorului *m*. Din secundarul său de 380 V, 50 Hz este alimentată puntea redresoare integrată monofazată *pI*1 (prin intermediul condensatorului *C1*). Tensiunea redresată de *pI*1 în punctul *C* are valoarea de circa 450 Vc.c. Condensatorul acumulator de energie *C*2 se încarcă la această tensiune (cu polaritatea din figură) pe circuitul: secundar *m* — 380 V, *pI*1 *C*2, primar bobină de inducție *B*1 (care este legată la masă conform figurii 3). Tot în figura 3 se observă că al doilea secundar al transformatorului *m* (de: 12 V, 50 Hz), alimentează, prin redresorul format din puntea redresoare monofazată integrată *pI*2, circuitul formator de impulsuri *CFI* pentru comanda pe grilă a tiristorului *Th*. În acest circuit formator de impulsuri *CFI*, condensatorul *C*3 (care trebuie ales de valoare cît mai mare) face o filtrare foarte puternică a tensiunii redresate de *pI*2 (duce valoarea tensiunii redresate cît mai aproape de: $\sqrt{2} \times 12$ V c.c.). Grupul format din rezistența

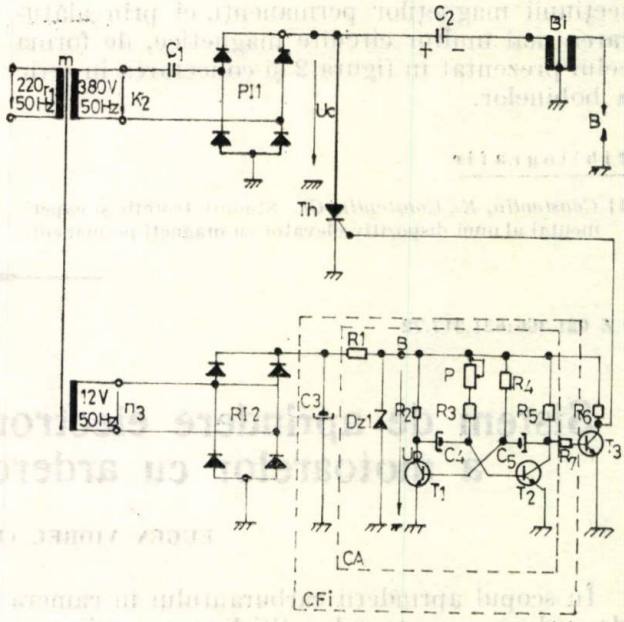


Fig. 3. Sistem de aprindere electronică pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă — ciclul Stirling — varianta staționară.

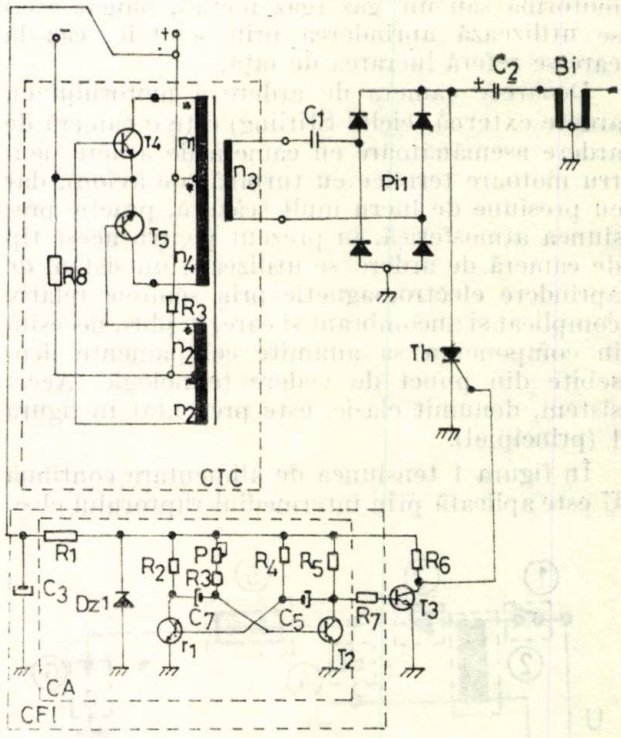


Fig. 4. Sistem de aprindere electronică pentru camera de ardere a motoarelor cu ardere externă — ciclul Stirling — varianta nestaționară.

*R*1 și dioda Zener *DZ*1 generează tensiunea stabilizată *UD* (egală cu tensiunea *Uz* a diodei Zener *DZ*1), care devine tensiune de alimentare

pentru circuitul stabil CA format din: tranzistoarele $T1$, $T2$, condensatoarele $C4$, $C5$, rezistenţele $R2$, $R3$, $R4$, $R5$ şi potenţiometrul P.

Din potenţiometrul P se reglează (variabil) durata de conducţie a tranzistorului $T2$:

$tcT2 = 0{,}7 \times R4C5$, iar durata de pauză a lui $T2$, (1)

$$tpT2 = 0{,}7 \times (P + R3)C4. \quad (2)$$

Atunci pentru tranzistorul $T3$ (de pe $R6$ luîndu-se semnalul necesar grilei lui Th) se va regla din potenţiometrul P durata de pauză a impulsului de comandă pe grila lui Th, fiind evident că timpul de conducţie al tranzistorului $T3$ este egal cu timpul de pauză al tranzistorului $T2$.

Deci:

$$tcT3 = 0{,}7 \times (P + R3)\,C4 \quad (3)$$

şi timpul de pauză al $T3$:

$$tpT3 = 0{,}7 \times R4C5. \quad (4)$$

În consecinţă, parametrii impulsului de comandă pe poarta tiristorului Th vor fi:

$$t \text{ durată impuls} = 0{,}7 \times R4C5 = tpT3 \quad (5)$$

şi:

$$t \text{ pauză impuls} = 0{,}7 \times (P + R3)C4 = tcT3. \quad (6)$$

Deci, timpul de pauză al impulsului este reglabil, iar durata impulsului este constantă; în acest fel se poate regla frecvenţa impulsurilor.

Deci:

t pauză impuls minim $= 0{,}7 \times R3C4$; (căci: $P = 0$) (7)

şi:

$$t \text{ pauză impuls maxim} = 0{,}7 \times (R3 + P\max)\,C4;\ (P = P\max), \quad (8)$$

iar:

$T = t$ durată impuls + t pauza impuls = perioada impulsurilor (9)

şi:

$$f = 1/T = \text{frecvenţa impulsurilor.} \quad (10)$$

Din relaţiile (7), (8), (9), (10) se observă că se poate regla frecvenţa impulsurilor între f_{min} şi f_{max}.

Cînd circuitul formator de impulsuri CFI generează impulsuri, conform celor descrise mai sus, condensatorul $C2$ se descarcă prin Th şi primarul bobinei de inducţie BI la masă, generează, prin intermediul secundarului bobinei de inducţie BI, o scînteie prin bujia B (care de astă dată este o bujie B „normală", obişnuită, folosită în mod curent la motoare termice cu aprindere prin scînteie de genul celor utilizate pe autovehicule).

Energia scînteii la bujia B este:

$$Us = (Uc^2 \times C2)/2. \quad (11)$$

În varianta prezentată în figura 4 (varianta nestaţionară) singura modificare făcută, faţă de schema din figura 3, este cerută de utilizarea alimentării de la o baterie de acumulatori, iar alimentarea de la baterie a sistemului este cerută de faptul că motorul poate fi plasat pe autovehicule. În acest caz tensiunea ridicată, necesară pentru încărcarea condensatorului $C2$ este generată de convertizorul de tensiune CTC; în rest funcţionarea schemei din figura 4 este identică cu cea a schemei din figura 3.

De remarcat faptul că condensatorul $C1$ (aflat în schema din figura 3, cît şi în schema din figura 4) este montat în scopul de a limita curentul din secundarul transformatorului m (prin înfăşurarea $n2$) din figura 3, sau de a limita curentul secundar al înfăşurării $n3$ din figura 4.

De menţionat că circuitul stabil din cadrul circuitului formator de impulsuri CFI se poate realiza mult mai simplu, utilizînd un circuit integrat tip βE 555 — producţie I.P.R.S. Băneasa, schema simplificîndu-se prin eliminarea tranzistoarelor $T1$, $T2$ şi a celorlalte componente electronice din schema astabilului realizat cu componente discrete.

Sistemul prezentat are o serie de avantaje, printre care pot fi amintite următoarele:

— se utilizează componente electronice foarte ieftine şi nu sînt necesare construcţii speciale;

— se utilizează bujii normale;

— nu se utilizează elemente de descărcare auxiliare.

Sistemul în ambele variante a fost realizat şi testat în funcţionare, cu foarte bune rezultate, el asigurînd următorii parametri pentru scînteia la bujie:

1. Frecvenţa scînteilor la bujie (reglabilă): 1—3 Hz.

2. Tensiunea la bujie: cca 25—30 kV.

3. Energia scînteii: cca. 200—300 mJ.

De subliniat faptul că, în cazul cînd creşte valoarea capacităţii condensatorului $C2$, se pot obţine valori şi mai mari ale energiei scînteii.

Sistemul prezentat în lucrarea de faţă a fost brevetat în anul 1986 cu Brevetul de Invenţie RSR nr. 91626/86.

CZ 621.316.7

REGULATOARE NUMERICE
MICROPROCESOARE

Regulator numeric specializat, realizat cu microprocesor

NITU I. COSTICĂ* — BUCUREȘTI

În cadrul cercetărilor experimentale efectuate în vederea modernizării aparaturii de automatizare, utilizată la reglarea temperaturii în cuptoare electrice, s-au realizat regulatoare numerice cu microprocesoare pentru comanda elementelor de execuție cu tiristoare. Aceste regulatoare numerice, avînd la bază microprocesorul 8080 și notate cu RNT80, s-au experimentat în cadrul unor sisteme de reglare a temperaturii la două procese termice de pe o mașină tipografică. Avînd în vedere particularitățile acestor mașini, a fost necesară realizarea unor regulatoare numerice pentru doi parametri, care să comande elemente de execuție realizate cu tiristoare. Aceste regulatoare numerice pot fi utilizate pentru reglarea temperaturii în cuptoare electrice și în alte ramuri industriale, obținîndu-se importante economii de energie, care pot ajunge pînă la 6% din consumul curent.

1. Caracteristicile regulatorului numeric specializat

Elementele de execuție realizate cu tiristoare au avantajul că pot comuta puteri mari, fără a mai utiliza amplificatoare electronice de putere. De asemenea, tiristoarele au avantajul unei fiabilități înalte. Elementele se execuție realizate cu tiristoare sînt perfect compatibile cu regulatoarele numerice cu microprocesoare, care, pe baza unor algoritmi de conducere, elaborează semnale logice de comandă. Compatibilitatea tiristoarelor cu regulatoarele numerice se justifică prin aceea că tiristoarele au o inerție mică și că necesită semnale de comandă de putere mică. Deoarece comanda tiristoarelor se poate face după unghi sau după un număr de semiperioade [1], rezultă că discretizarea comenzii nu mai necesită convertoare numeric-analogice, ca în cazul altor tipuri de elemente analogice de execuție, ceea ce reprezintă un avantaj important al utilizării microprocesoarelor. În cazul proceselor tehnologice termice, unde încălzirea se face prin rezistențe electrice, datorită prezenței unor constante mari de timp în funcția de transfer a instalației automatizate, se recomandă utilizarea comenzii tiristoarelor după un număr de semiperioade, metodă care a fost adoptată în construcția interfeței de ieșire a regulatorului numeric specializat [2].

În industria tipografică se folosesc numeroase mașini de culegere mecanică a datelor, la care se face reglarea temperaturii în două puncte: în cazanul electric cu aliaj tipografic topit și în gura de turnare. În ambele cazuri s-au folosit pînă în prezent regulatoare bipoziționale cu comanda pe relee. Avînd în vedere importanța măsurilor de reducere a consumului de energie electrică, este necesar să se treacă la utilizarea elementelor de execuție realizate cu tiristoare [3]. Astfel, prin cercetările experimentale efectuate s-a demonstrat (în perioada 1970—1975) necesitatea utilizării unor regulatoare analogice specializate *PI* cu comanda pe tiristoare, în prezent fiind necesară însă introducerea regulatoarelor numerice avînd la bază structuri cu microprocesoare [4].

Deoarece în cazul mașinilor tipografice reglarea temperaturii se face în gama 0...300°C, măsurarea temperaturii se face cu termorezistențe de tipul Pt 100 cuplate direct la regulatorul numeric. Deci, regulatorul numeric cu microprocesor este un regulator specializat deoarece este folosit numai pentru traductoare termorezistive și poate comanda numai elemente de execuție realizate cu tiristoare. Acest tip de regulator numeric, spre deosebire de cele cu semnal unificat, sînt destinate pentru o anumită clasă de procese și reprezintă aproximativ 30% din aparatele de reglare [6].

2. Descrierea sistemului automat cu regulator numeric avînd elementul de execuție realizat cu tiristoare

Funcția principală a unității centrale a regulatorului numeric constă în calculul valorii numerice a mărimii de comandă. Dacă se notează cu $u(nT)$ valoarea numerică a mărimii de comandă, elaborată prin programul regulatorului numeric pe baza algoritmului *PI*, atunci pentru comanda tiristoarelor este necesară conversia număr-durată de timp, conform ecuațiilor:

$$t_n = \begin{cases} K \cdot u(nT) & \text{pentru } t_n \leqslant T \\ T & \text{pentru } K \cdot u(nT) > T, \end{cases} \quad (1)$$

unde t_n este durata impulsului de comandă, iar T este perioada ciclului de comandă a elementului de execuție [2]. Trebuie remarcat că perioada T a ciclului de comandă este un parametru de acordare a regulatorului numeric și poate să difere de perioada de eșantionare din procesul de măsurare, care se alege din alte criterii, ca de exemplu din condiția de reconstituire sau de contorizare a semnalului măsurat. Datorită conversiei număr — durată, figura 1, comanda

* Conf. dr. ing. *Nitu C.* — Institutul Politehnic — București

elementului de execuţie se face în impulsuri modulate în durată avînd următorii parametri :

$$U_1(t) = \begin{cases} A \text{ pentru } nT \leqslant t < nT + t_n \\ 0 \text{ pentru } nT + t_n \leqslant t < (n+1)T, \end{cases} \quad (2)$$

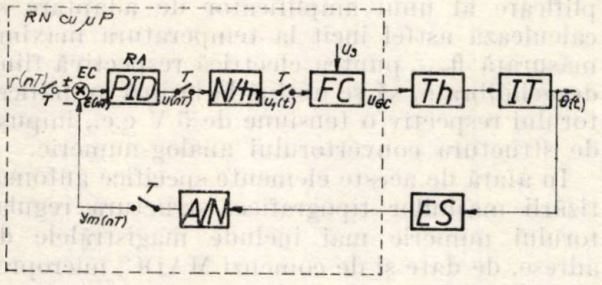


Fig. 1

unde A este amplitudinea impulsului de comandă şi care este aleasă astfel încît să se obţină o comutaţie sigură a tiristoarelor.

Transmiterea comenzii sub forma unor impulsuri modulate în durată, de la regulatorul numeric la blocul de tiristoare T_h se face prin intermediul unui circuit de separare galvanică, realizat cu un fotocuplor FC, care are şi rolul de sincronizare cu tensiunea reţelei de alimentare U_s. Deoarece impulsurile de sincronizare cu tensiunea reţelei U_s pot fi reprezentate printr-o succesiune de impulsuri $\delta(t - KT_s)$, unde T_s este durata unei semiperioade a tensiunii reţelei, rezultă că tensiunea poartă-catod U_{GC} a tiristoarelor se defineşte prin relaţia :

$$U_{GC} = \sum_{K=0}^{\infty} U_1(t) \cdot \delta(t - KT_s),$$

care reflectă modularea semnalului $U_1(t)$ cu o frecvenţă constantă de impulsuri de sincronizare cu tensiunea reţelei.

În cadrul cercetărilor experimentale s-au identificat funcţiile de transfer ale cazanului cu aliaj tipografic şi a gurii de turnare, ambele avînd încălzire electrică. Incluzînd în partea fixată a funcţiei de transfer cuptorul electric şi tiristoarele, s-a obţinut, pentru ambele procese, o funcţie de transfer de forma :

$$H_f(s) = \frac{K_f \cdot e^{-\tau s}}{1 + sT_1},$$

unde T_1 este o constantă de timp , τ — timpul mort datorită tiristoarelor şi K_f un coeficient de proporţionalitate. Avînd în vedere inerţia termică mare a proceselor automatizate, se poate neglija timpul mort datorită tiristoarelor. Factorul total de amplificare K_f şi constanta de timp T_1 definesc cu suficientă precizie procesul tehnologic automatizat.

Pentru analiza pe calculatorul numeric a sistemului de reglare a temperaturii în procesele termice menţionate, s-au folosit ecuaţiile de stare ale sistemului automat de reglare, care, conform figurii 1, pentru elementele componente [1] se definesc astfel :

— elementul de comparaţie a referinţei cu mărimea măsurată :

$$\varepsilon(nT) = r(nT) - y_m(nT), \quad (3)$$

— regulatorul numeric automat, cu o lege de reglare PI discretizată :

$$U(nT) = K_1 \varepsilon(nT) + K_2 \sum_{i=0}^{n} \varepsilon(iT), \quad (4)$$

unde K_1, K_2 sînt parametrii de acordare ai regulatorului numeric pentru sistemul analizat;

— partea fixată a sistemului, formată din cuptorul electric şi tiristoare ca circuite de comutaţie :

$$\theta(nT + t_n) = \theta(nT) \cdot e^{-\frac{t_n}{T_1}} + K_f \cdot (1 - e^{-\frac{t_n}{T_1}}), \quad (5)$$

$$\theta[(n+1)T] = \theta(nT + t_n) \cdot e^{-\frac{T - t_n}{T_1}},$$

— traductorul, format din elementul sensibil ES, care este o termorezistenţă, din adaptorul rezistenţă-tensiune şi convertorul analog-numeric :

$$Y_m(nT) = F[\theta(nT)],$$

unde funcţia F reprezintă o neliniaritate introdusă de efectul de cuantificare. Această neliniaritate pentru convertorul analog-numeric utilizat este descrisă prin relaţia :

$$Y_m(nT) = INT[\theta(nT) + 0{,}5],$$

unde funcţia INT reprezintă operaţia de rotunjire.

Folosind un algoritm de conducere PI pentru calculul comenzii numerice $u(nT)$, pe baza ecuaţiilor 1...6, s-au calculat, prin simularea numerică pe calculatorul numeric, procesele tranzitorii la ambele sisteme de reglare pentru diferite seturi de valori ale parametrilor de acordare K_1, K_2 şi T ai regulatorului numeric utilizat.

De exemplu, pentru sistemul de reglare a temperaturii în cazanul electric cu aliaj tipografic topit, prin metode experimentale s-au determinat parametrii funcţiei de transfer a părţii fixate, obţinîndu-se $K_f = 300$ şi $T = 20$. Calculîndu-se prin metoda criteriilor integrale [1] parametrii de acordare, s-a obţinut : $K = 0{,}7$;

$K_1 = 0{,}02$; $K_3 = 0{,}03$, pentru $T = 10$. Pentru aceste valori, prin simulare numerică, s-au obținut pentru un semnal -treaptă a referinței procese tranzitorii cu performanțe acceptabile : suprareglajul 4,5% și timpul de reglare 45 s.

În cercetările experimentale efectuate s-au obținut performanțe de reglare similare cu cele calculate prin simularea numerică a sistemelor de reglare.

3. Structura regulatorului numeric specializat

În cazul utilizării în industria tipografică a regulatoarelor numerice specializate, realizate cu microprocesoare, apar următoarele particularități structurale de programare și constructive :

a. Comanda elementelor de execuție, realizate cu tiristoare, necesită un subprogram pentru realizarea conversiei mărimii de comandă $u(nT)$ într-o succesiune de impulsuri $U_1(t)$ modulate în durată. Conversia număr-durată de

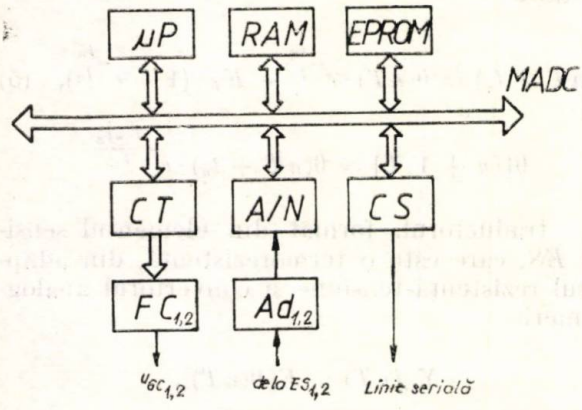


Fig. 2.

timp se poate face prin program sau utilizînd circuite integrate specializate controloare de timp 8253. Deoarece unitatea centrală cu microprocesorul 808 servește pentru două canale de reglare și aceasta trebuie să fie degrevată de funcțiuni suplimentare, s-a adoptat soluția utilizării unui circuit programabil controlor de timp, notat cu CT în figura 2. Pentru cele două bucle de reglare a temperaturii la o mașină tipografică se folosesc două cartele $FC_{1,2}$ pentru separare galvanică și sincronizare cu tensiunea rețelei, figura 2. Soluția adoptată pentru realizarea acestor cartele are avantajul că nu folosește transformatoare de sincronizare [5], avînd o construcție simplă și robustă. Semnalele de intrare ale fotocuploarelor sînt semnale logice de la ieșirea circuitului controlor de timp CT. Semnalele de ieșire $U_{GC1,2}$ sînt transmise pe porțile tiristoarelor ca elemente de execuție.

b. Deoarece se utilizează elemente sesizoare ES de tipul termorezistenței este necesară introducerea unor cartele $A_{d1,2}$ pentru realizarea adaptării rezistență-tensiune continuă și care reprezintă două punți electrice alimentate în curent continuu [5], conectate la cîte un amplificator operațional integrat pentru adaptarea nivelului de tensiune. Rezistențele electrice ale punților se calculează astfel încît la valoarea minimă a temperaturii măsurate θ_{min}, puntea electrică să fie echilibrată. Coeficientul de amplificare al unui amplificator de adaptare se calculează astfel încît la temperatura maximă măsurată θ_{max}, puntea electrică respectivă fiind dezechilibrată, să se obțină la ieșirea amplificatorului respectiv o tensiune de 5 V c.c., impusă de structura convertorului analog-numeric.

În afară de aceste elemente specifice automatizării mașinilor tipografice, structura regulatorului numeric mai include magistralele de adrese, de date și de comenzi MADC, microprocesorul 8080 (cu circuitele aferente, generatorul de ceas 8224 și amplificatorul de magistrală 8228), o memorie RAM de 1 koctet, o memorie EPROM de 8 kocteți și un circuit de comunicație serială CS de tipul 8251, care permite introducerea-extragerea de date din regulator cu ajutorul unei console de tip DAF 2010.

Structura programelor include programul monitor pentru comunicația cu operatorul, programele de bază și de aplicație, introduse în memoria EPROM. Dintre funcțiile auxiliare ale unității centrale a regulatorului numeric se pot enumera :

— testarea elementelor componente prin program, elaborarea de coduri care reflectă tipul de defecțiune care a intervenit și semnalizarea acestora operatorului ;

— comutarea regimurilor de funcționare ale regulatorului numeric în funcție de comenzile transmise de către operator prin intermediul consolei, astfel încît să se memoreze condițiile inițiale :

— asigurarea comunicației seriale cu consola operatorului de proces, prin care se introduc valorile parametrilor de acordare sau se vizualizează diferite mărimi din sistemele numerice de reglare supervizate.

Funcțiile principale și auxiliare ale regulatorului numeric permit introducerea de noi strategii de conducere a proceselor tehnologice și care nu pot fi implementate cu ajutorul tehnicii analogice care stă la baza regulatoarelor automate convenționale.

4. Concluzii

Sistemele de reglare a temperaturii cu regulatoare numerice cu microprocesoare și cu comanda pe elemente de execuție, realizate cu tiristoare, au permis îmbunătățirea performanțelor de reglare, simultan cu reducerea consumului de energie electrică. Paralel cu extinderea utilizării acestor sisteme de reglare sînt în continuare necesare măsurii de fiabilizare a aparaturii, astfel încît aceasta să poată funcționa

în condiții de vibrații și de temperaturi ridicate ale mediului ambiant [5]. Aceste condiții severe de funcționare sînt necesare deoarece aparatura de automatizare descrisă este montată pe mașini tipografice, ceea ce a impus soluția constructivă de realizare a unui regulator numeric multicanal pentru doi parametri. Continuarea cercetărilor în vederea introducerii în fabricație de serie a unor regulatoare numerice cu microprocesoare și cu comanda pe elemente de execuție realizate cu tiristoare, utilizate pentru reglarea temperaturii în două procese termice la mașinile tipografice sau la procese termice similare, oferă noi posibilități pentru o reducere importantă a consumului de energie electrică și de creștere a productivității muncii, reprezentînd o nouă etapă de modernizare a aparaturii de automatizare, bazată pe utilizarea circuitelor integrate pe scară largă.

Bibliografie

[1] *Călin, S., Dumitrache, I., Nitu, C.*, ș.a. Reglarea numerică a proceselor tehnologice, Ed. tehnică 1984.

[2] *Nitu, C.* Ein Mikroprocessor Algorithmus für impulse modulierte Steuerungen, TWT, Wismar, 1984.

[3] *Nitu, C., Oancea, D.* Utilizarea regulatoarelor automate specializate cu comandă pe tiristoare în vederea reducerii consumului de energie. Electrotehnica, Electronica, Automatica, nr. 2, iunie 1986.

[4] *Nitu, C.* Cercetări experimentale privind utilizarea regulatoarelor numerice cu comandă pe tiristoare. Lucrările Simpozionului Național „Teoria sistemelor", Universitatea Craiova, mai, 1984.

[5] *Nitu, C., Matlac, I., Feștilă, C.* Echipamente electrice și electronice de automatizare, EDP, 1983, București.

[6] *Nitu, C.* Regulatoare numerice cu largi posibilități de utilizare. Sesiunea tehnico-științifică, 1968, Universitatea Brașov.

CZ 621.316:681.5

CIRCUITE LOGICE
ANALIZA ASISTATĂ DE CALCULATOR
METODA NUMERICĂ

Analiza asistată de calculator a circuitelor logice utilizînd metoda simbolică

CONSTANTIN POȘA, DORU CHIPER* — IAȘI

Introducere

Metoda simbolică de analiză a circuitelor logice [1, 2] fiind o metodă numerică, se pretează ușor la programarea pe un calculator electronic numeric.

În esență, analiza unui circuit logic constă în a determina valorile variabilelor de ieșire pentru toate combinațiile posibile ale variabilelor de intrare (pentru circuitele combinaționale), sau mai mult, determinarea secvențelor de ieșire (ale variabilelor de ieșire) pentru toate secvențele posibile ale variabilelor de intrare (în cazul circuitelor secvențiale). Prin secvență se înțelege o succesiune impusă de modificări ale variabilelor de intrare, căreia îi corespunde o succesiune de modificări ale variabilelor de ieșire. Datorită modificărilor variabilelor de stare, în circuitele logice secvențiale (CLS), secvențele de ieșire vor avea o lungime mai mare decît secvențele de intrare.

În metoda simbolică, șirului ordonat al variabilelor de intrare i se atașează un set de valori, denumite numere de stare, corespunzătoare tuturor combinațiilor posibile ale celor dintîi. În cazul circuitelor secvențiale în aceste combinații intră și variabilele de stare dar cu ponderi mai mari decît ale variabilelor de intrare. Aceste numere de stare pot fi exprimate în binar, octal, sau hexazecimal. Pentru calculul manual este întotdeauna preferat codul octal, deoarece are evidente diferențele de adiacență dintre numerele de stare adiacente.

Grupînd numerele de stare pentru care o funcție logică (o variabilă de ieșire) ia valoarea 1 și/sau valoarea 0, se obține așa-numitul simbol de marcare, care cuprinde toate informațiile conținute în tabelul de adevăr al funcției.

Pentru punerea în evidență a secvențelor de lucru se utilizează așa-numitul raport de stare, care este raportul dintre numărul care reprezintă starea intrărilor la un moment dat și numărul care reprezintă starea ieșirilor la același moment. Succesiunea de modificări ivită în funcționarea circuitului va fi descrisă de o succesiune de rapoarte de stare.

1. Analiza CLC

Primul pas în analiza circuitelor logice constă în determinarea expresiei logice asociate fiecărei variabile de ieșire. Această etapă se realizează manual prin inspecția schemei. Etapa următoare constă în determinarea simbolului de marcare. Pentru a găsi numerele de stare cores-

* Ing. as. *Poșa, C.* — Institutul Politehnic Iași; ing. Chider, D. — I. .C. filiala Iași.

punzătoare termenilor din forma canonică disjunctivă se recurge la căutarea unor numere de stare adiacente numerelor de stare corespunzătoare fiecărui implicant prim. Se procedează astfel : se consideră primul implicant prim. Primul număr de stare, denumit în continuare cap de listă, se obține înlocuind în poziția corespunzătoare variabilelor prezente ne negate cifra 1, iar restul biților se completează cu 0. Rezultă deci, în prima etapă, un număr binar care se convertește apoi în octal sau alt cod de lucru.

Se determină numerele diferență de adiacență corespunzătoare fiecărei variabile lipsă în acest implicant (Numărul diferență de adiacență este 2^{k-1}, unde k este ordinul (poziția) variabilei-lipsă în șirul ordonat al variabilelor de intrare).

Se determină lista numerelor adiacente capului de listă utilizînd diferențele de adiacență găsite. Pentru o diferență de adiacență se formează numere adiacente tuturor celor existente deja în listă.

Procedînd la fel pentru toți implicanții și reunind într-o listă unică numerele de stare găsite, considerate o singură dată, se obține simbolul de marcare corespunzător funcției logice.

Fie spre exemplu circuitul din figura 1 (este un circuit secvențial, nu combinațional, dar este

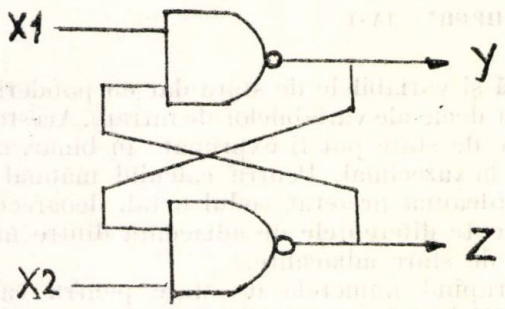


Fig. 1. Circuit bistabil. Exemplu pentru analiză manuală.

exemplificat pe acesta pentru a nu relua procedura la paragraful următor). $x1$ și $x2$ sînt variabile de intrare, Y variabilă de ieșire și Z o variabilă de stare. Trebuie găsite simbolurile de marcare ale variabilelor Y și Z.

Se consideră șirul ordonat al variabilelor de intrare și de stare astfel : y, z, $x2$, $x1$ (ieșirea Y este utilizată, după cum se observă și ca variabilă de stare). Variabilele de stare utilizate la intrare s-au notat cu litere mici spre a le deosebi de aceleași variabile utilizate ca variabile de ieșire.

Din inspecția circuitului rezultă $Y = \overline{x1z} = \overline{x1} + yx2$ și $Z = \overline{x2y} = \overline{x2} + zx1$.

Pentru variabila Y primul implicant este $\overline{x1}$. Lipsesc deci variabilele y, z și $x2$, deci diferențele de adiacență ce urmează a fi utilizate sînt 2^3 ; 2^2 ; respectiv 2^1 (în octal 10 ; 4 ; 2). Variabila $x1$ intervenind negată, rezultă că primul număr cap de listă este 0. Lista generată de acesta este :

$$0/\overset{2}{2}/\overset{4}{4}\,;\, 6/\overset{10}{10}\,;\, 12\,;\, 14\,;\, 16.$$

Al doilea implicant este $yx2$, deci următorul cap de listă este $2^3 + 2^1$ (în octal 12), iar diferențele de adiacență vor fi 2^0 (lipsește $x1$) și 2^2 (lipsește z). A doua listă este :

$$12/\overset{1}{13}/\overset{4}{16}\,;\, 17.$$

Simbolul de marcare aferent acestei variabile va fi deci :

$$Y = U^{yzx2x1}_{1:(0\,;\,2\,;\,4\,;\,6\,;\,10\,;12\,;13\,;14\,;16\,;17)}.$$

Din aceasta se poate deduce ușor forma canonică normal disjunctivă ca fiind :

$$Y\ \bar{y}\bar{z}\bar{x}2\bar{x}1 + \bar{y}\bar{z}x2\bar{x}1 + \bar{y}z\bar{x}2\bar{x}1 + \bar{y}zx2\bar{x}1 +$$
$$+ y\bar{z}\bar{x}2\bar{x}1 + y\bar{z}x2x1 + y\bar{z}x2x1 + yzx\bar{2}x\bar{1} +$$
$$+ yzx2\bar{x}1 + yzx2x1.$$

Procedînd la fel și pentru variabila Z, se obține simbolul :

$$Z = U^{yzx2x1}_{1:(0\,;\,1\,;\,4\,;\,5\,;\,7\,;\,10\,;\,11\,;\,14\,;\,15\,;\,17)}.$$

Fiind un circuit secvențial (prin variabilele y și z valorile ieșirilor depind de starea anterioară) se observă că informația dată de simbolul de marcare nu este suficientă (v. § următor). Pentru un circuit combinațional simbolul de marcare oferă însă totalitatea informațiilor pentru caracterizarea sa completă.

Algoritmul pentru întocmirea programului pe calculator poate fi urmărit pe organigrama din figura 2, unde s-au făcut notațiile : $CT(L)$ — vectorul ce conține numerele de stare denumite cap de listă, obținute din fiecare implicant prim ; $ADJ(L, M)$ — vectorul ce conține cele $M(L)$ numere diferență de adiacență, corespunzătoare fiecăruia din cei N termeni ai expresiei logice ; $LAP(K1)$ — lista parțială de adiacențe, corespunzătoare unui anumit număr de diferență de adiacență utilizat ; $LA(K1)$ — lista numerelor de stare corespunzătoare unui implicant prim ; LAF — lista finală de adiacențe (indicele inferior al simbolului de marcare).

Algoritmul urmează următorii pași :

1 — se consideră capul de tabel asociat primului implicant ;

2 — se include capul de tabel în LA și LAF ;

3 — se adună la primul termen din listă numărul diferență de adiacență $ADJ(K)$ și se testează dacă numărul generat este adiacent cu cel inițial. Dacă este adiacent se continuă cu 5 ;

4 — dacă nu este adiacent se efectuează opeția de scădere ;

5 — se incrementează K_1 și se revine la 3 în condiția în care $K1$ se păstrează mai mic decît 2^{K-1};

6 — dacă nu LAP este completă și se include în LA și LAF;

7 — se trece la generarea următoarei liste parțiale prin incrementarea lui K și revenirea la 3 pînă la epuizarea elementelor lui $ADJ(1, K)$;

8 — se consideră următorul cap de tabel prin incremetarea lui L și se revine la 2 pînă la epuizarea tuturor celor N elemente ale lui $CT(L)$;

— Se tipărește LAF.

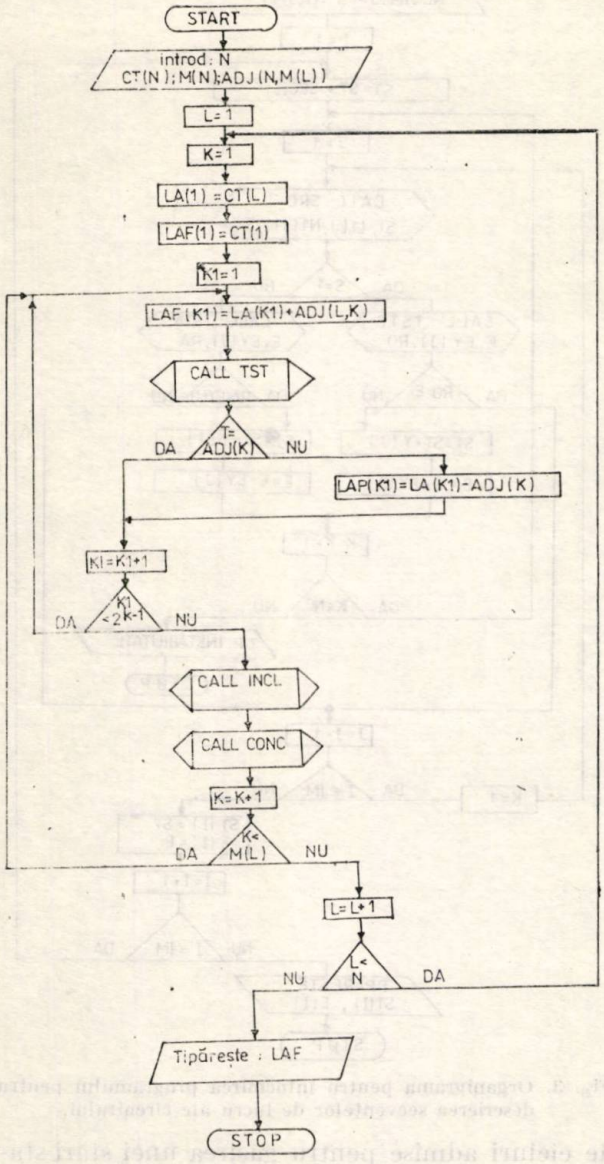


Fig. 2. Organigrama pentru întocmirea programului pentru determinarea simbolului de marcare aferent variabilelor de ieșire și de stare. Program suficient pentru analiza circuitelor logice combinaționale.

Subrutina TST testează dacă numărul obținut prin adunare este adiacent cu numărul căruia i s-a adunat diferența de adiacență, aplicînd operația SAU EXCLUSIV celor două numere. Dacă rezultatul este un număr cu un singur bit (număr egal cu diferența de adiacență utilizată) numerele testate sînt adiacente.

Subrutina $CONC$ include elementele lui LAP în LA prin concatenare.

Subrutina $INCL$ include elementele lui LAP în LAF numai în condiția în care acestea nu existau în LAF și în pozițiile corespunzătoare valorilor acestora.

2. Analiza CLS

Pentru circuitele logice secvențiale analiza continuă după găsirea simbolului de marcare, cu descrierea secvenței sau secvențelor de lucru. Pentru aceasta se consideră starea de plecare, care este starea în care se poate găsi sistemul la conectarea alimentării, de exemplu. Numărul de stare corespunzător acesteia este căutat în listele din indicele inferior al simbolului de marcare pentru a găsi starea corespunzătoare a ieșirii. Se impune o serie de modificări posibile ale variabilelor de intrare. Se scriu rapoartele de stare corespunzătoare fiecărei modificări, avînd grijă ca apariția unei modificări la ieșire (numitorul raportului de stare) a variabilelor de stare să fie operată și la intrare (numărător), în următorul raport. Ultimul raport din secvență va caracteriza starea finală în care ajunge sistemul.

Se consideră circuitul exemplificat. Am văzut în capitolul anterior că acesta este caracterizat de simbolul de marcare :

$$U^{yzx1x2}_{\substack{Y\ 1:(0;\ 2;\ 4;\ 6;\ 10;\ 12;\ 13;\ 14;\ 16;\ 17).\\ Z\ 1:(0;\ 1;\ 4;\ 5;\ 7\ ;\ 10:\ 11;\ 14;\ 15;\ 17)}}$$

Avînd în vedere că circuitul este realizat cu porți TTL, la care o intrare neconectată este 1 logic ,se poate considera starea de plecare a variabilelor de intrare 3. Cifra 3 nu este în nici una din liste, deci ambele variabile de ieșire vor avea valoarea 0. Starea de plecare va fi caracterizată de raportul 3/0.

Considerînd că se conectează $x1$ la masă și apoi se deconectează, se urmărește secvența de lucru :

$$\frac{3}{0} \xrightarrow{x1=0} \left(\frac{2}{2}\right) \xrightarrow{y=1} \frac{12}{2} \xrightarrow{x1=1} \frac{13}{2}.$$

Pentru $x1 = 0$ numărul de stare corespunzător devine 2. Acestuia îi corespunde starea de ieșire 2 deoarece numărul se găsește în lista numerelor obligatorii (pentru care funcția ia valoarea 1) ale variabilei de ieșire Y. Starea (2/2) este o stare instabilă (s-a evidențiat acest lucru prin scrierea ei în paranteze) deoarece la numitor variabila Y are valoarea 1, iar la numărător valoarea 0. Se impune deci imediat și modificarea numărătorului (este ca și cum la

intrare modificarea ar apare cu o oarecare întîrziere față de ieșire). Se ajunge în starea stabilă 12/2. Dacă $x1$ dispare (redevine 1) se ajunge la starea stabilă 13/2 cu variabila de ieșire y avînd valoarea 1. Se poate spune că secvența descrisă este o secvență de înscriere a variabilei y, iar $x1$ este o intrare de înscriere (SET).

În mod asemănător se pot descrie și alte secvențe. Fie, de exemplu, trecerea lui $x2$ în 0 și apoi în 1, după ce a avut loc secvența descrisă anterior:

$$\frac{13}{2} \xrightarrow{x2=0} \frac{11}{1} \begin{cases} \xrightarrow{y=0} \frac{1}{1} \xrightarrow{z=1} \\ \xrightarrow{z=1} \frac{15}{1} \xrightarrow{y=0} \end{cases} \frac{5}{1} \xrightarrow{x2=1} \frac{7}{1}.$$

Această secvență poate fi denumită secvența de ștergere a variabilei de ieșire Y, iar variabila $x2$ intrare de ștergere (RESET).

O repetare a modificării aceleiași variabile de intrare nu modifică starea sistemului. Într-adevăr:

$$\frac{13}{2} \xrightarrow{x1=0} \frac{12}{2} \xrightarrow{x1=1} \frac{13}{2} \ldots$$

$$\frac{7}{1} \xrightarrow{x2=0} \frac{5}{1} \xrightarrow{x1=1} \frac{7}{1} \ldots$$

Pentru întocmirea programului de descriere a secvențelor de lucru ale unui circuit se poate urmări algoritmul după organigrama din figura 3, unde s-au făcut notațiile: $L1(J, N1(J))$ — lista numerelor de stare obligatorii ale variabilelor de ieșire și de stare; ST — numărul de stare corespunzător stării intrării (numărătorul raportului de stare) la plecare; E — numitorul stării de plecare; $Y(J)$ — ponderile variabilelor de intrare și de stare în numărătorul raportului de stare; N — numărul acestor variabile; $EY(J)$ — ponderile variabilelor de ieșire și de stare în numitorul raportului de stare; SEC(I) — secvența de intrare ce se dorește a fi urmărită.

Algoritmul urmează următorii pași:

1. Se consideră primul element din secvență și se modifică starea adunînd ponderea acestui element la starea anterioară.

2. Se cheamă subrutina SRC pentru a căuta noua stare în lista numerelor de stare obligatorii ale primei variabile. Dacă nu este în listă se trece la 5.

3. Se cheamă subrutina TSTO pentru a vedea dacă ieșirea E conține ponderea acestei variabile de ieșire. Dacă E conține pe $EY(J)$ se trece la 9.

4. Se modifică și E adunînd ponderea variabilei la ieșire $EY(J)$. Se continuă cu 7.

5. Se cheamă subrutina $TSTA$ pentru a vedea dacă E are debitul corespunzător lui $EY(J)$ egal cu 0. Dacă da se trece la 9.

6. Se modifică starea scăzînd ponderea $Y(J)$. Se modifică de asemenea și ieșirea scăzînd $EY(J)$

7. Se revine la 2 prin incrementarea variabilei de ciclare K, dacă nu s-a depășit numărul

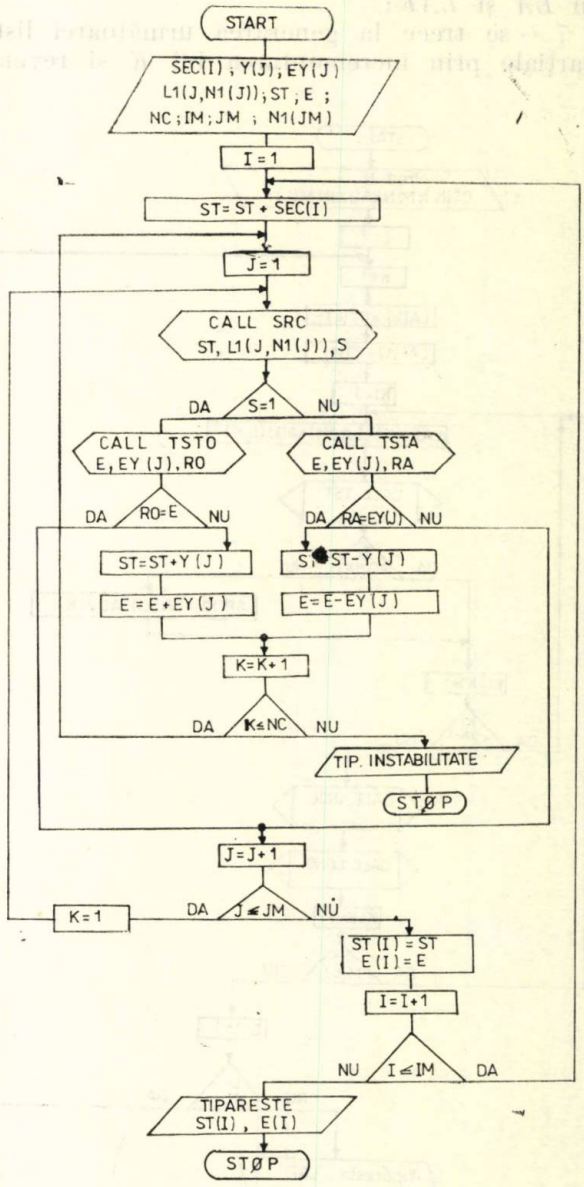


Fig. 3. Organigrama pentru întocmirea programului pentru descrierea secvențelor de lucru ale circuitului.

de cicluri admise pentru găsirea unei stări stabile (numărul variabilelor de stare plus 1).

8. Dacă s-a depășit acest număr se oprește execuția semnalizînd (tipărind) „Instabilitate în sistem".

9. Se incrementează J și se revine la 2 pentru a căuta în lista numerelor de stare obligatorii a următoarei variabile de stare, dacă nu s-au epuizat listele ($J > JM$).

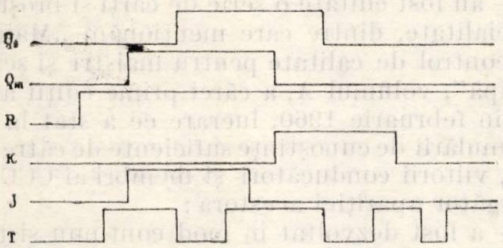
10. Se trece la următorul pas al secvenței prin incrementarea lui I și revenirea la 1.

11. Dacă elementele secvenței impuse au fost epuizate ($I > IM$) se cere tipărirea secvenței de ieșire ($ST(I)$ și $E(I)$).

Subrutina *TSTO* apelează la operația SAU ıtre E și $EY(J)$, după care se compară rezulıtul cu E, iar subrutina *TSTA* apelează la ɔerația *SI* între E .și $EY(J)$, comparînd apoi ·zultatul cu $EY(J)$.

3. Rezultate

Cu ajutorul calculatorului se pot analiza cirıite secvențiale complexe. Pentru testarea proramului s-a recurs la analiza circuitului basulant bistabil de tip $J-K$ din componența rcuitului integrat CDB473. Pentru ușurința rmăririi secvențelor, rezultatele au fost cerute



ig. 4. Diagramele furnizate de calculator pentru secvența intrare: $T = 1$; $J = 1$; $T = 0$; $T = 1$; $J = 0$; $K = 1$; $= 0$; $T = 1$; $K = 0$; $T = 0$; $T = 1$, avînd inițial $R = 1$, plicată CBB-ului de tip $J \div K$ master-slave tip CDB 473.

ub formă grafică, așa cum se poate vedea în gura 4. Începînd de jos sînt reprezentate modificările impuse variabilelor de intrare J, K și R și în continuare celor de stare și ieșire Q_m și Q_s. În figură apar, de fapt, secvența de înscriere și cea de ștergere a bistabilului.

Odată obținut simbolul de marcare a variabilelor de ieșire ale unui circuit și introdus într-un fișier, se pot analiza orice secvențe de lucru ale circuitului respectiv, într-un timp foarte scurt.

Reprezentarea grafică este preferată șirului de rapoarte de stare, datorită observării rapide a modificărilor apărute la variabilele de ieșire și stare.

Programul poate fi utilizat la studiul comportării structurilor numerice în totalitatea posibilităților de evoluție, fiind de un mare ajutor în verificarea circuitelor proiectate.

Bibliografie

[1] *Reus, N.* Tratarea simbolică a schemelor de comutație. Ed. Academiei 1971.
[2] *Huțanu, C.* Circuite logice și comenzi secvențiale. Ed. Junimea, Iași, 1983.
[3] *Poșa, C., Reus, N.* Une analyse des circuits intégrés digitals par la méthode symbolique. Bul. I.P.I. tom XXX(XXXIV), 1984.
[4] *Poșa, C., Chiper, D.* Analiza structurilor numerice combinaționale utilizînd calculatorul electronic. Simp. „Realizări în domeniul electronicii profesionale", vol. VI, p. 17, Snagov, 1986.

Z 005—007.2

CONTROL CALITATE

Spre "Cercuri pentru controlul calității" viabile în România

PETRE—CORNELIU HÂRȘOVESCU, GABRIELA ILIESCU*—BUCUREȘTI

Introducere

Lucrarea prezintă aspecte din activitatea cerurilor pentru controlul calității, cercuri care u devenit un fenomen de masă în Japonia i tind să se extindă și în celelalte țări ale lumii, ncercări în acest sens făcîndu-se și în țara noasră.

Sînt prezentate modalitățile de organizare și uncționare ale acestora în diverse țări, rezulatele obținute și greșelile efectuate, pentru ca rin comparație să se reliefeze calea ce trebuie le urmat în vederea obținerii unor rezultate ficiente.

Aspectele prezentate au fost preluate din biliografia consultată, autorii revendicîndu-și numai paternitatea asupra concluziilor.

* Ing. *Hârșovescu, P. C.*, ec. *Iliescu, G.* — ICPE — București.

1. Aspecte din activitatea cercurilor pentru controlul calității (CCC) din Japonia

Primul CCC a apărut la japonezi în anul 1962 ca EFECT (PRODUS) al revoluției ce a avut loc în Japonia în domeniul calității și NU ca o CAUZĂ a acesteia, așa cum în mod eronat s-a considerat de foarte multe ori.

Această revoluție în calitate, înfăptuită în ultimii treizeci și ceva de ani, și care explică SUCCESUL în domeniul calității produselor japoneze s-a rezolvat în următoarele etape :

Etapa I-i : După anul 1950, dr. W. E. Deming (din SUA) introduce în Japonia CONTROLUL STATISTIC AL CALITĂȚII, ca urmare a unor conferințe cu privire la bazele teoretice ale controlului statistic al calității, ce au trezit un enorm interes.

Etapa a II-a : După anul 1960, dr. J.M. Juran (din SUA) introduce în Japonia, cu prilejul unor conferințe, ideea CALITĂȚII ca RESPONSABILITATE A CONDUCERIII între-

prinderii. Japonezii încep să realizeze în cadrul fiecărei firme un SISTEM AL CALITĂȚII LA NIVELUL ÎNTREPRINDERII (în cadrul căruia s-a constituit un sistem informațional al calității).

Etapa a III-a : Din anul 1962 încep să se desfășoare activități la nivelul unor grupuri mici de angajați, adică CERCURILE, care vor reuși în timp să implice pe TOATĂ LUMEA în procesul de rezolvare a problemelor, motiv pentru care uneori se vorbește de CERCURI DE REZOLVARE DE PROBLEME.

Se organizează un SISTEM NAȚIONAL condus de JUSE (Uniunea oamenilor de știință și inginerilor japonezi), pentru implementarea, promovarea și sprijinirea dezvoltării CCC.

Revoluția în calitate înfăptuită de japonezi, poate fi caracterizată, în principal, de următoarele elemente :

— preluarea conducerii funcției calității de către conducerea superioară a întreprinderii ;

— un program masiv de instruire și perfecționare în domeniul calității ;

— un program anual de îmbunătățire a calității ;

— instruirea și perfecționarea în controlul calității întregului personal al întreprinderii, la toate nivelurile ierarhice și în toate compartimentele, de la personalul de conducere la muncitori ;

— participarea întregului personal al întreprinderii, de la conducere la muncitori, la activitățile complexe din cadrul controlului calității ;

— cunoașterea de către întreg personalul întreprinderii, de la conducere la muncitori, a principiilor și metodelor statistice, fapt care are ca efect o aplicare eficientă a controlului statistic al calității ;

— orientarea efortului în controlul calității, în special în domeniul controlului calității proceselor de proiectare, aprovizionare tehnico-materială, fabricație etc.

Necesitatea înființării CCC a rezultat din nevoia existenței unui cadru organizat în care să se dezbată diverse probleme de principiu și metodologice privind controlul calității, vizînd activitatea la nivelul muncitorilor. Această necesitate apăruse deoarece anterior se depusese o activitate masivă de răspîndire, în rîndul întregii populații active a Japoniei, a informațiilor tehnico-științifice corecte, referitoare la scopul și mijloacele controlului calității, activitate care *a premers înființării primelor CCC cu circa 12 ani*.

CCC *nu au apărut pe un teren gol*, ci au fost o consecință firească a unei *pregătiri* informaționale intense de durată și corecte din punct de vedere științific, pregătire ce a făcut (și face în continuare) parte dintr-un program complex de promovare a calității la nivel național, ceea ce constituie în fapt *miezul revoluției* japoneze în calitate.

În acest sens în Japonia :

— au fost înființate trei reviste, specializate p probleme de control statistic al calității, co duse de JUSE :

a. „Controlul statistic al calității" (înființat în anul 1950) ;

b. „Controlul calității pentru maiștri și șef de echipă" (înființată în 1952) ;

c. „Rapoarte asupra aplicării cercetărilor st tistice" (înființată în 1953) ;

— au fost difuzate cursuri de control al cal tății prin rețelele de radio (începînd din an 1956 prin societatea NHK) și televiziune (î cepînd din anul 1969) ;

— au fost editate o serie de cărți și broșuri d specialitate, dintre care menționăm „Manual de control de calitate pentru maiștri și șefii d echipă", volumul A, a cărei prime ediții a apă rut în februarie 1960, lucrare ce a stat la baz acumulării de cunoștințe suficiente de către ma ștri, viitorii conducători și membri ai CCC, pr mergător apariției acestora ;

— a fost dezvoltat în mod continuu sistem de standarde în domeniul calității și controlu statistic al calității ;

— JUSE organizează, de peste 20 ani, sem narii de cîte 4 zile de instruire a directorilor d întreprinderi, ale căror programe vizează si temul calității la nivelul întregii întreprinderi

— au fost asigurate cursuri de specializare c și fără scoatere din producție, de JUSE și JS (Asociația japoneză pentru standardizare), pe tru diverse categorii de salariați, din care s poate semnala „cursul de bază în controlul cal tății pentru maiștri și șefii de echipă" de 6 zil a 8 ore pe zi ;

— au loc conferințe anuale cu tema „calit tea și controlul calității" pentru :

— directori (începînd din anul 1963) ;

— personalul din compartimentele de contr al calității și pentru cel de conducere la niv mediu (începînd din 1951) ;

— pentru maiștri și șefii de echipă (din 1962)

— pentru consumatori (începînd cu 1963)

— au loc conferințe anuale ale CCC.

După această succintă prezentare a modul cum a fost realizată etapa I-i a revoluției știi ținifice în calitate din Japonia, este absolut n cesar a examina în ce a constat etapa a II-a revoluției, realizarea unui „SISTEM AL CAL TĂȚII LA NIVELUL ÎNTREPRINDERII" etapă care, după părerea majorității specialiș lor din lume, a constituit CHEIA și a stat la baz funcționării eficiente a CCC din Japonia.

SISTEMUL CALITĂȚII LA NIVELUL ÎN TREPRINDERII reprezintă structura orga nizațională, responsabilitățile, activitățile și mi loacele care formează cadrul procedural și met dologic prin care este asigurată capacitatea în treprinderii de a realiza cerințele referitoare l calitate.

Acest SISTEM este format din 4 componente principale, are niște instrumente de planificare și competențe specifice, așa cum se prezintă schematic în figura 1.

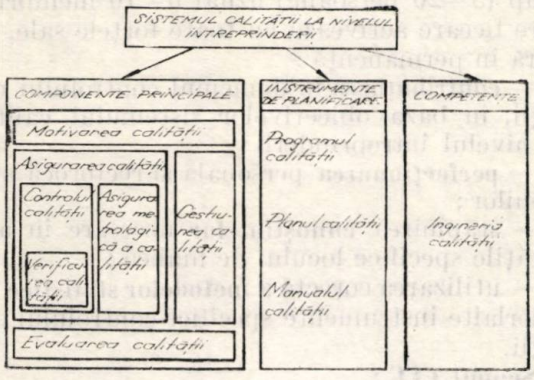


Fig. 1

A. MOTIVAREA CALITĂȚII : complexul de activități de stabilire a obiectivelor calității, de instruire, de perfecționare și stimulare a personalului muncitor într-o întreprindere, de propagandă audio-vizuală și de întruniri, la toate nivelurile ierarhiei întreprinderii, desfășurată în scopul ridicării permanente a nivelului de competență și calificare în domeniul calității și în cel al conștientizării personalului muncitor asupra efectelor pozitive ale realizării obiectivelor calității și, mai ales, asupra efectelor negative ale lipsei de calitate.

B. ASIGURAREA CALITĂȚII — componentă cu specific predominant tehnic — ansamblul de activități planificate sau sistematice, necesare pentru a garanta că un produs sau un serviciu este astfel realizat încît să fie capabil să satisfacă necesitățile beneficiarului — împărțite în două categorii principale :

a — *activități în colaborare cu beneficiarul* prin care se stabilesc : necesitățile acestuia (reale), condiții de utilizare corectă a produsului (sau serviciului), obținerea datelor privind comportarea în exploatare în vederea îmbunătățirii continue a satisfacerii cerințelor utilizatorilor ;

b — *activități interne ale întreprinderii*, grupate în controlul calității și asigurarea metrologică a calității.

CONTROLUL CALITĂȚII — ansamblul de acțiuni destinat să mențină sau să îmbunătățească calitatea și să stabilească producția la nivelul cel mai economic ce ține seama de *satisfacerea pretențiilor beneficiarului*, folosind principiile și metodele statisticii matematice, acțiuni îndeplinite de toate compartimentele întreprinderii și de întreg personalul muncitor al acesteia, cunoscut în S.U.A. sub denumirea de „control total al calității" (*TQC*), sau în Japonia de „control al calității la nivelul întreprinderii" (*CWQC*). Fiind fundamentat pe utilizarea informației statistice, controlul calității proceselor industriale mai este cunoscut și sub denumirea de „control statistic al calității".

— *VERIFICAREA CALITĂȚII* — procesul de măsurare, examinare, încercare, etalonare, sau orice altă modalitate de comparare a elementului verificat (unitate de produs, lot de produse, proces de fabricație, prestația unui serviciu etc.) cu specificațiile care îi sînt aplicabile.

— *ASIGURAREA METROLOGICĂ A CALITĂȚII* — parte componentă a sistemului de asigurare metrologică a întreprinderii, care se referă la sistemul de dotare a procesului de producție cu mijloace de măsurare și verificare, necesare verificării calității unităților de produs și determinării nivelului parametrilor de proces, de întreținere și verificare metrologică a acestor mijloace pentru menținerea funcționării lor la nivelul performanțelor specificate.

Observație : Asigurarea metrologică a calității este esențială pentru obținerea unor date primare corecte referitoare la calitate, date utilizate în analiza calității și fundamentînd deciziile ce sînt luate în consecință.

C. GESTIUNEA CALITĂȚII — metodologia prin care se evidențiază și urmărește evoluția costurilor calității în vederea aplicării măsurilor tehnico-organizatorice de îmbunătățire a calității și de optimizare concomitentă a costului total al calității.

D. EVALUAREA CALITĂȚII — examinarea sistematică a eficacității tehnico-economice a sistemului calității dintr-o întreprindere, în general, sau a părților sale componente, în vederea autoreglării funcționalității acestuia.

Acest „Sistem al calității la nivelul întreprinderii" va funcționa corect dacă vor fi folosite următoarele *instrumente specifice de planificare* :

— PROGRAMUL CALITĂȚII — grupaj documentat de activități, mijloace și evenimente, care servește la implementarea sistemului calității într-o întreprindere.

— PLANUL CALITĂȚII — document derivat din programul calității detaliat dacă este necesar, stabilind activitățile, mijloacele și metodele specifice în domeniul calității pentru un anumit proiect de activitate.

— MANUALUL CALITĂȚII — document care stabilește politica generală a calității într-o întreprindere, procedurile și practicile în acest domeniu.

Pentru organizarea, conducerea și asigurarea funcționării normale a *sistemului calității* la nivelul întreprinderii industriale, este necesară existența unui compartiment specializat în probleme de concepție în domeniul calității, căruia să-i fie delegată autoritatea și responsabilitatea în ceea ce privește *INGINERIA CALITĂȚII*.

INGINERIA CALITĂȚII este o ramură a ingineriei care se ocupă cu principiile și metodele

specifice tehnologiei calității, precum și cu cele care fac obiectul activității desfășurate în cadrul sistemului calității.

Ingineria calității se referă în principal la :

— organizarea, dezvoltarea și asigurarea funcționării sistemului de asigurare, control și verificare a calității, adică a sistemului calității ;

— aplicarea metodelor statistice pentru analiza parametrilor calității, în scopul controlului calității la nivelul optim economic al acestora ;

— dezvoltarea și analiza procedeelor de încercare și verificare a calității prin eșantionare ;

— elaborarea tehnologiilor de control al calității *loturilor* de produse și elaborarea tehnologiilor-cadru de control al calității proceselor de fabricație ;

— organizarea, dezvoltarea și conducerea sistemului informațional al calității ;

— organizarea și participarea efectivă la revizuirea proiectelor produselor și a tehnologiilor de fabricație a acestora ;

— organizarea unor analize adecvate pentru determinarea operațiunilor ce necesită acțiuni corective ;

— familiarizarea cu elemente de motivare în domeniul calității ;

— familiarizarea cu conceptele și tehnicile referitoare la costurile calității ;

— organizarea și conducerea programelor de instruire și perfecționare a personalului întreprinderii, în domeniul verificării, controlului și asigurării calității.

Din conținutul etapei a II-a a revoluției japoneze în calitate, se poate formula concluzia logică că organizarea sistemului calității la nivelul întreprinderii, factorul cheie pentru atingerea obiectivelor calității, nu este de competența CCC, ele au un domeniu strict delimitat în cadrul acestui sistem și pot funcționa numai condiționat de existența acestuia.

Trecînd la examinarea etapei a III-a a revoluției științifice în calitate ce s-a înfăptuit în Japonia, este necesar ca mai întîi să lămurim ce reprezintă și care este scopul funcționării CCC.

Constantîndu-se divergențe asupra principiilor fundamentale ale CCC, un grup de zece oameni de știință japonezi (printre care se afla și K. Ishikawa) membri în Departamentul Central al CCC din Tokyo, au elaborat în anul 1970 manualul „QC Circle Koryo", a cărei versiune engleză a fost editată în anul 1980 de către JUSE (Uniunea omaenilor de știință și inginerilor japonezi).

În această lucrare fundamentală sînt definite CCC și sînt expuse „principiile generale" ale acestora, în scopul clarificării activității lor în Japonia.

La acea dată erau înregistrate la JUSE 40 000 cercuri și au avut loc în Japonia 140 de conferințe ale CCC.

Definiție (Japonia) :

CCC este un grup mic constituit din oameni ai muncii pentru a executa VOLUNTAR activități de control al calității la locul de muncă unde lucrează membrii grupului. Acest mic grup (3—20 persoane) uzual 5—10 membri, în care fiecare activează cu toate forțele sale, asigură în permanență :

— **contribuția** sa în domeniul controlului calității, în baza obiectivelor sistemului calității la nivelul întreprinderii ;

— **perfecționarea** personală și reciprocă a oamenilor ;

— stăpînirea **cunoștințelor** necesare în activitățile specifice locului de muncă ;

— utilizarea corectă a **metodelor statistice** și a celorlalte instrumente specifice controlului calității.

Scopul CCC :

— contribuție la îmbunătățirea funcționării și dezvoltării întreprinderii ;

— respectul omului și constituirea unui colectiv satisfăcut care lucrează cu plăcere ;

— folosirea și dezvoltarea caracteristicilor umane care au posibilități infinite și nebănuite.

Corolar CCC :

— instruirea fără participare este **risipă** și **frustrare** ;

— participare fără instruire conduce la **frustrare** și **conflict.**

Astfel CCC contribuie la :

— *implicarea interesului personal* de la nivelul operativ (al execuției) în activitatea de control a calității, prin efectuarea activităților specifice de STĂPÎNIRE a calității (sensul corect al controlului calității la nivelul locului său de muncă, adică ceea ce ar trebui să se înțeleagă în mod corect prin „AUTOCONTROL" ;

— *ridicarea maistrului* (*șefului de echipă*) în rîndul personalului cu atribuții de organizare și conducere la nivel operativ și dezvoltarea calităților de organizator și conducător ale acestuia, prin procesul de autoperfecționare și de răspîndire a cunoștințelor în domeniul controlului calității.

În cele ce urmează vor fi puse în evidență unele aspecte caracteristice ale activității CCC așa cum sînt ele prezentate în [8].

La organizarea unui CCC într-o întreprindere acesta, de regulă, este înregistrat la compartimentul cu sarcini de control al calității, unde de asemenea, se vor înregistra și temele abordate sau proiectele pentru îmbunătățirea calității, stabilite ca obiectiv de către cercul respectiv.

Totodată, fiecare CCC trebuie să adopte un nume, care se înregistrează la departamentul central din cadrul JUSE, astfel încît să se poată stabili un mijloc de comunicare directă între acest departament și cercul respectiv.

În postura de conducător al unui CCC activează un maistru, un șef de echipă, sau chiar unul dintre muncitorii specialiști și cu experiență de la locul de muncă unde se organizează cercul respectiv. Sarcina conducătorului este de a selecta în acord cu membrii cercului temele de studiu care să fie puse în discuție, de a descoperi problemele care să fie atacate spre rezolvare, de a imagina căile și mijloacele de rezolvare a acestor probleme și de a schița planul de îmbunătățire. Față de membrii cercului, conducătorul are sarcina să contribuie la dezvoltarea lor pe linie profesională, să-i conducă în spiritul unei activități organizate și să se preocupe în permanență de a-i învăța principiile și metodele de analiză statistică, cît și de a le ridica cunoștințele tehnice specifice locului lor de muncă.

Astfel procedînd, conducătorul cercului își perfecționează în permanență activitatea proprie, contribuind la succesul propriu și la cel al cercului ce-l conduce.

Activitatea CCC mai este caracterizată și de dezvoltarea unui sistem de învățare individuală, de autoperfecționare și de perfecționare reciprocă. Toți membrii cercului se străduiesc să studieze metodele și tehnicile de analiză care să-i ajute să atingă obiectivele propuse și pe care le află din diverse publicații de specialitate din Japonia.

Dintre instrumentele științifice, majoritatea vizînd tehnicile statistice de prelucrare și analiză a informației, utilizate de membrii CCC pentru atingerea obiectivului activităților se menționează: brainstorming, tehnici de eșantionare, diagrama Pareto, histograme, fișe de control statistic, graficul de probabilitate binomială, diagrama de corelare, stratificarea, diagrama Ishikawa (sau analiza cauză — efect), tehnici de prezentare etc.

Caracteristic pentru modul în care operează CCC este faptul că acestea au o activitate continuă, nu numai atunci cînd se ivește vreo problemă în domeniul calității, deoarece procesele de învățare și de îmbunătățire a calității sînt continue, orice întrerupere fiind dăunătoare.

Toți membrii CCC iau parte la întîlniri săptămînale (sau cel puțin lunare) de circa 1 oră, unde se pun în discuție problemele cele mai stringente ce afectează calitatea în secția respectivă.

Fiecare membru al CCC, primește la întîlnirea săptămînală, o anumită problemă pentru a o studia și la următoarea întîlnire trebuie să prezinte concluziile la care a ajuns, prin observarea fenomenului respectiv, colectarea de date și analiza acestora cu ajutorul metodelor statistice.

CCC își îndeplinește sarcinile prin el însuși, pe cît posibil, independent de alții alegînd problemele de studiu din activitatea de zi cu zi și introducînd îmbunătățirile propuse prin intermediul discuțiilor la care participă toți membrii cercului. Selectarea subiectelor de studiu și a obiectivelor de îmbunătățire este realizată prin inițiativa tuturor membrilor pe baza tipului de examinare oferit de analiza Pareto, cu ajutorul căreia stabilesc obiectivele *puține dar vitale*, selectîndu-le dintre cele *multe dar puțin importante*.

CCC implementează toate soluțiile asupra cărora a decis în raport cu performanțele activității productive, raționalizări în muncă, prevenirea realizării de produse neconforme calitativ etc. De asemenea, CCC stabilește obiectivele referitoare la îmbunătățiri prin discuții în grup și înregistrează temele alese pentru studiu la compartimentul de control al calității din întreprindere.

Prin participarea tuturor membrilor la toate fazele rezolvării problemelor și la luarea deciziilor, aceștia acționează ca un grup integrat, instruindu-se și perfecționîndu-se reciproc, începînd să aibă astfel nu numai o conștiință ridicată față de calitate, dar și simțul responsabilității pentru întreaga activitate ce o au de desfășurat în viitor.

Uneori se pot organiza temporar formații de mai multe CCC din aceeași secție a unei întreprinderi, în scopul rezolvării unor probleme cu caracter mai complex decît cele care constituie obiectul activității fiecărui cerc în parte.

CCC sînt ca niște celule nervoase ale sistemului calității la nivelul întreprinderii, permițînd o comunicare adecvată între conducerea întreprinderii și muncitori, ceea ce are ca efect o mai bună cunoaștere, abordare și realizare a obiectivelor de la locul de muncă, ca părți constituente ale obiectivului general al întreprinderii.

Membrii CCC participă la întîlniri de schimb de experiență ce au loc periodic la nivelul locului de muncă, la nivelul secției productive, al compartimentului întreprinderii, sau între întreprinderi, unde se anunță rezultatele îmbunătățirilor obținute și se face cunoscută experiența lor, în cadrul rapoartelor prezentate cu ocazia întîlnirilor cu membrii altor cercuri, făcînd comparații cu performanțele realizate anterior, în scopul pregătirii pe viitor a unor activități și mai eficiente. Prin implicarea în activitățile din afara întreprinderii în care lucrează, membrii unui CCC pot să înțeleagă mai bine problemele, devin mai motivați și încep să aibă o atitudine mai pozitivă și mai fermă față de problemele pe care le au de rezolvat în direcția controlului calității.

Schimbul de vizite de această natură, în care se vine în contact cu experiența altora și se poartă discuții chiar la locul de producție, reprezintă azi o practică din ce în ce mai utilizată în Japonia.

Mai recent, unele cercuri organizează vizite în alte regiuni ale Japoniei, avînd un program de lucru extins pe 2—3 zile, cu aprobarea conducerii întreprinderii în care activează aceste cercuri.

Domeniile în care activitatea CCC a adus îmbunătăţiri sînt foarte diversificate putîndu-se aprecia că : 50% din probleme se referă la îmbunătăţirea calităţii, 40% sînt de natura măririi productivităţii şi reducerii costurilor şi circa 10% privesc securitatea în exploatare şi alte probleme.

Astăzi, în Japonia, CCC au progresat atît de mult încît au ajuns să fie privite de conducerile întreprinderilor ca o parte vitală a capacităţii de conducere a întreprinderilor respective — nu numai ca o funcţie izolată, operînd la nivelul secţiei şi atelierului —conducerea sprijinindu-se efectiv pe activitatea lor şi utilizîndu-le competenţa în rezolvarea problemelor.

Introducerea şi generalizarea *controlului statistic* în Japonia (considerat de către aceştia ca o *avuţie naţională*) a permis dezvoltarea informaţiilor şi pe orizontală, iar prin organizarea unui sistem informaţional al calităţii, informaţiile s-au putut propaga descendent pînă la nivelul maistrului (spre deosebire de restul lumii unde informaţia preponderentă este cea descendentă şi se propagă numai pînă la nivelul inginerilor) ; prin apariţia CCC propagarea informaţiilor s-a extins pînă la nivelul muncitorilor, putînd însă circula şi ascendent, de la nivelul muncitorului pînă la conducerea superioară a întreprinderii.

Promovarea activităţilor CCC la nivel naţional este asigurată de un departament central din cadrul JUSE şi de opt departamente regionale. Recent au fost înfiinţate şi secţii în cadrul departamentelor regionale care au aceeaşi structură organizatorică ca acestea.

Toţi funcţionarii din cadrul departamentelor pentru CCC sînt persoane din întreprinderi particulare sau cadre didactice din învăţămîntul superior şi nu sînt funcţionari guvernamentali.

Ei activează în mod voluntar pentru promovarea CCC, aproape fără nici o recompensă materială.

Fiecare departament regional are un comitet care stabileşte politica şi programul propriu de dezvoltare, care includ conferinţele regionale ale CCC, întîlniri pentru schimb de experienţă, întîlniri de dezbateri etc.

Conducătorii departamentului central şi cei din departamentele regionale se întîlnesc de două ori pe an pentru schimb de experienţă şi pentru a stabili împreună programele de dezvoltare şi implementare ce urmează a fi promovate în anul respectiv.

Numele CCC înregistrate la JUSE este anunţat în revista „Controlul calităţii pentru maiştri şi şefii de echipă", cercul respectiv declarîndu-şi astfel începută activitatea.

Comunicarea mesajelor de la Departamentul Central, prin intermediul departamentelor regionale către CCC de la nivelul întreprinderilor se realizează prin suplimentul la revista menţionată anterior, intitulat „Noutăţi (ştiri) despre cercurile pentru controlul calităţii", prin poştă, sau direct telefonic.

Efectele remarcabile ale activităţii CCC sînt favorabile atît pentru întreprindere, cît şi pentru personalul acesteia şi pot fi clasificate astfel :

— creşterea nivelului calităţii produselor ;
— reducerea defectelor ;
— reducerea costurilor fabricaţiei ;
— creşterea productivităţii ;
— scăderea accidentelor de muncă, creşterea nivelului de securitate şi de igienă ;
— reducerea timpului neproductiv al utilajelor şi echipamentelor ;
— creşterea conştiinciozităţii, o mai strînsă identificare a muncitorilor cu întreprinderea, reducerea numărului de absenţe de la lucru ;
— dezvoltarea conştiinţei muncitorilor faţă de problemele calităţii şi rezolvarea acestora.

Din rapoartele prezentate cu ocazia conferinţelor CCC rezultă realizări medii de ordinul a 56 000 $/caz, an.

În scopul unei evaluări cît mai exacte a rezultatelor este absolut necesar ca obiectivul propus spre rezolvare să fie clar definit şi exprimat în termeni care să permită o cuantificare la fel de clară şi rapidă. Numai astfel membrii CCC pot evalua cu uşurinţă unde se găsesc la un moment dat în contextul general al promovării progresului în întreprindere.

În Japonia, multe întreprinderi obişnuiesc să comunice realizările obţinute prin următoarele modalităţi :

a — publicarea în revista „Rapoarte lunare ale CCC" ;

b — elaborarea unui raport final asupra unei probleme care a fost rezolvată cu succes şi soluţia de îmbunătăţire a furnizat rezultate ferme, raport care este ulterior difuzat tuturor persoanelor a căror activitate are tangenţă cu problema respectivă ;

c — rapoarte în cadrul conferinţelor CCC din întreprindere, care sînt prezentate şi oficial conducerii întreprinderii în cadrul sistemului de sugestii de îmbunătăţire ;

d — dintre rapoartele prezentate în cadrul conferinţelor pe întreprindere, se selecţionează cele considerate ca foarte bune, pentru a fi prezentate cu ocazia conferinţelor CCC organizate la nivel regional sau naţional.

Pentru conducătorul unui CCC, ca şi pentru membrii acestuia este o onoare să se prezinte la astfel de conferinţe şi să vorbească despre rezultatele obţinute.

Participarea la conferinţele respective (pe o durată de 2—3 zile) este suportată de întreprindere.

Recompensele materiale acordate muncitorilor pentru propunerile făcute în cadrul CCC sînt

foarte mici, de obicei 1—3 $ pentru fiecare propunere de îmbunătăţire.

Pentru membrii CCC sînt mai importante recompensele morale. Totuşi, cînd unele propuneri sînt brevetate ca invenţii, acestea pot fi recompensate cu 150—1 000 $.

Aşa cum arată K. Ishikawa, în considerarea sistemului de recompense este necesar să se ţină seama de relaţiile de muncă din Japonia, cu totul deosebite de ale altor ţări industrializate, relaţii caracterizate prin faptul că asigurarea unui loc de muncă pe viaţă şi celelalte facilităţi, pe care întreprinderea le acordă angajaţilor, fac ca muncitorii să pună mai presus de interesele personale pe cele ale întreprinderii, al cărei progres implică progresul fiecărui angajat.

Unele elemente care pot frîna activitatea CCC sînt :

— formalism în activitatea cercurilor ;
— CCC nu funcţionează ca parte integrantă a efortului presupus de sistemul calităţii la nivelul întreprinderii ;
— membrii CCC nu studiază tehnicile specifice controlului calităţii ;
— progrèsul în activitatea unui cerc tinde să se oprească la un moment dat, din lipsă de idei inovatoare ;
— membrii CCC încep să se izoleze de ceilalţi muncitori de la locul de producţie ;
— lipsa de înţelegere şi sprijin din partea conducerii superioare a întreprinderii ;
— temele de studiu sau proiectele alese sînt nepotrivite ;
— metode necorespunzătoare de evaluare a efectelor activităţii CCC ;
— lipsa de competenţă şi de calităţi de conducător la maistrul sau şeful de echipă coordonator de CCC ;
— activităţi sporadice, pretenţioase, ale CCC.

K. Ishikawa consideră că CHEIA succesului revoluţiei japoneze în domeniul calităţii constă în ÎNCURAJAREA de către întreprindere a muncitorilor DE A GÎNDI ei înşişi. Ei gîndesc şi acţionează în cadrul CCC, ca membri ai unei structuri ce se întinde în întreaga întreprindere, plasînd în mîinile fiecărui muncitor responsabilitatea pentru calitate. Această abordare a problemei (privită ca o componentă a „Sistemului calităţii la nivelul întreprinderii") a diminuat pînă la o virtuală eliminare, necesitatea verificării produselor în numeroase întreprinderi japoneze (prin AUTOCONTROL). Ideea nu trebuie înţeleasă nici simplist, nici greşit, deoarece eliminarea necesităţii verificării calităţii produselor este numai urmarea unei STABILITĂŢI STATISTICE DEOSEBITE a proceselor de fabricaţie, tradusă printr-o repartiţie a valorilor caracteristicilor de calitate a produselor într-un domeniu de o lungime mult mai mică decît cel specificat ca interval de toleranţă şi situat în întregime în interiorul acestuia.

Existenţa şi activitatea CCC din Japonia constituie un fenomen de MASĂ, pe cînd în celelalte ţări au un caracter SPORADIC, neputîndu-se pune bază pe „autocontrolul" executantului.

Din această cauză, majoritatea firmelor gîndesc în mod greşit că verificarea riguroasă a calităţii reprezintă cheia reuşitei în asigurarea calităţii. Aceasta necesită un număr mare de controlori, care fac să scadă productivitatea.

Prin instruirea tuturor angajaţilor, în vederea depistării şi eliminării cauzelor (surselor) ce generează defectele (controlul preventiv sau activ) se reduce în final necesitatea unui număr exagerat de controlori.

Astfel, în majoritatea întreprinderilor japoneze procentul controlorilor variază între 1—5% faţă de numărul total al angajaţilor, în timp ce în întreprinderi din alte ţări proporţia ajunge pînă la 15% sau chiar mai mult.

De reţinut este faptul că, reducerea numărului de controlori în Japonia s-a produs ca efect al unei îmbunătăţiri substanţiale a calităţii, ceea ce a condus la lipsa necesităţii unui număr mare de controlori şi NU ca urmare a unei decizii care ar fi avut ca obiectiv micşorarea numărului de angajaţi în vederea creşterii productivităţii.

CALITATEA, afirmă specialistul japonez, nu este altceva decît MIJLOCUL DE A CONDUCE o întreprindere şi se pare că această abordare a fost secretul „miracolului japonez". Ideea calităţii trebuie să impregneze întreprinderea în întregime, nu numai secţiile de producţie. Aceasta este ceea ce se numeşte în Japonia „controlul calităţii la nivelul întregii întreprinderi" (CWQC).

Cu toate rezultatele spectaculoase obţinute, CCC au următoarele limitări importante ;

— din totalitatea problemelor calităţii, doar circa 15% sînt controlabile de muncitori, restul de 85% — de către conducerea întreprinderii, iar în medie numai o treime din cele controlabile de muncitori vizează efectiv calitatea ;
— cele 15% din problemele controlabile de muncitori pot fi atacate cu succes numai în ipoteza unui sprijin susţinut din partea conducerii întreprinderii, care se manifestă sub trei aspecte principale :

a — rezolvarea problemelor controlabile de conducere prin eliminarea cauzelor perturbatoare „puţine dar vitale", de la nivelul sistemului calităţii din întreprindere, probleme la care muncitorul nu are acces şi competenţă pentru rezolvare ;
b — încurajarea şi sprijinirea efectivă a activităţii CCC şi crearea unui cadru favorabil aplicării soluţiilor găsite pentru rezolvarea problemelor abordate ;
c — preluarea efectivă de către conducerea întreprinderii a conducerii funcţiei calitate.

Ţinînd seama de rezultatele pozitive, cît şi de limitele evidenţiate, se pare că unul din cele mai mari avantaje ale activităţii CCC îl constituie îmbunătăţirea relaţiilor între angajaţi, implicînd un proces continuu de dialoguri între concepţie, execuţie şi conducerea întreprinderii, ca formă de comunicaţie asupra problemelor comune.

2. Aspecte din activitatea cercurilor calităţii (CC) din ţările vest-europene şi S.U.A.

● Aspecte din SUEDIA [13]

În septembrie 1976, specialistul suedez O. ALEXANDERSON, fondatorul EKAB (Economist Kualitetsstyrning A. B.), organizează la Stockholm şi Copenhaga două seminarii informative privitoare la cercurile calităţii.

Suedia a fost prima ţară din occident în care au început să activeze CC.

În anul 1979 are loc prima sesiune anuală a I.A.Q.C (Asociaţia internaţională a cercurilor de calitate), înfiinţată în anul 1978, în cadrul căreia O. Alexanderson prezintă raportul său asupra experimentului suedez.

Cu toate că în anul 1984 activau în Suedia CC în peste 100 de întreprinderi, nu există încă o organizaţie oficială a CC la nivel naţional.

În anul 1983, EOQC (Organizaţia europeană pentru controlul calităţii) a înfiinţat un comitet pentru CC.

După părerea specialistului suedez O. Alexanderson, „un cerc de calitate este un mic grup de oameni, de obicei 5—8 de la acelaşi loc de lucru, care împreună cu conducătorul lor folosesc de bună voie 1—2 ore pe săptămînă pentru rezolvarea sistematică a problemelor pe care ei înşişi le-au identificat".

Grupa (CC), după constituirea sa, alege un conducător din cadrul său, care cel mai adesea este şeful profesional. Indiferent cine este şef de cerc, acesta trebuie să urmărească crearea unui spirit de echipă, pentru ca toţi membrii să-şi asume răspunderea şi să muncească pentru scopul comun al cercului.

Prima şi cea mai importantă premisă a funcţionării unui CC este ca direcţiunea întreprinderii şi sindicatul să cadă de acord asupra desfăşurării activităţii acestuia.

Multe întreprinderi înfiinţează un Comitet de dirijare şi conducere (grup de pilotaj), pentru a elabora, între altele, programul de lucru al cercului pe o bază largă.

Cea mai importantă sursă de sprijin a CC este îndrumătorul, care dacă are normă întreagă poate asista cam 20 cercuri, cu condiţia ca şedinţele acestora să nu înceapă la aceleaşi ore.

Îndrumătorul sprijină CC la instruirea în tehnicile de rezolvare a problemelor, participă la activitatea cercului urmărind ca acesta să lucreze conform modelului de rezolvare sistematică a problemelor, dar nu preia niciodată conducerea cercului.

Atît îndrumătorilor, cît şi conducătorilor de CC le este absolut necesară o pregătire prealabilă, dar nu numai lor. Cea mai frecventă greşeală se face cînd sînt înfiinţate CC fără a se asigura sprijinul şefilor de nivel ierarhic mediu, care constituie tocmai acel grup la care este cel mai dificil să găseşti înţelegere.

Aceşti şefi mijlocii trebuie să posede o pregătire care să le permită să înţeleagă metodele de lucru ale CC, adică să priceapă că întîlnirile cercului nu sînt pauze de odihnă sau pălăvrăgeală, ci o muncă serioasă, cu un scop precis. Ei participă sporadic la activitatea cercului, dar joacă un rol însemnat în organizarea, coordonarea, informarea, adoptarea hotărîrilor şi încurajarea activităţii în cadrul cercurilor.

În primele 6—12 luni de la înfiinţarea unui CC, instruirea constituie o latură foarte importantă a activităţii acestuia.

Activitatea cercului se desfăşoară în principal pentru rezolvarea problemelor sau realizarea de inovaţii în diverse direcţii.

Rezolvarea problemelor se desfăşoară astfel :

— se identifică o problemă care s-a dovedit suficient de importantă ca să merite să fie abordată ;

— se analizează cauzele problemei şi se estimează soluţiile posibile ale celor mai importante cauze ;

— se face o propunere de rezolvare, bazată pe fapte, şefului răspunzător de domeniul respectiv, însoţită, pe cît posibil, de consecinţele tehnice şi economice ale propunerii :

— se urmăresc rezultatele aplicării propunerii în practică pentru a se constata efectul soluţiei.

Şedinţele cercului se ţin regulat, de preferat în aceeaşi zi din săptămînă şi la aceeaşi oră, pe o durată de 1—2 ore.

De regulă, şedinţele se ţin cu toţi membrii CC, dar sînt şi situaţii cînd cercul poate fi împărţit temporar şi în grupe mai mici, pentru execuţia unor anumite etape ale lucrărilor.

Conducătorul cercului răspunde de activitatea acestuia, dar nu înseamnă că el face singur totul, sarcinile fiind împărţite între membrii CC.

Îndrumătorul va participa la fiecare şedinţă a CC cel puţin pînă cînd cercul şi-a însuşit sistemul şi tehnicile de lucru, ceea ce durează aproximativ 1 an. Sarcinile principale ale îndrumătorului constau în conducerea procesului de pregătire a membrilor şi în asistarea cercului pentru a găsi cea mai bună formă de lucru.

Fiecare şedinţă se va termina cu fixarea ordinei de zi pentru următoarea întîlnire şi întotdeauna se va redacta un proces-verbal simplu.

Orice proiect se încheie cu un raport de eficienţă adresat şefului responsabil de problema rezolvată.

Dacă proiectul durează mai mult de 6 luni, şeful va fi informat asupra stadiului proiectului.

Suedezii au ajuns la concluzia că CC nu se pretează ca formă de lucru la nivelul șefilor, deoarece la acest nivel lipsește cantitatea suficientă de probleme de interes comun care să motiveze întîlnirile săptămînale.

Accentul prea mare pus pe recompensarea materială a rezultatelor CC poate conduce la alterarea obiectivelor alese de către acestea, fapt ce poate conduce la disensiune între cercuri și la deformarea scopurilor pentru care au fost acestea înființate.

Din acest motiv s-a vehiculat ideea creării unui fond comun pe întreprindere, care să fie administrat de un comitet ales de sindicat, din care să facă parte și un reprezentant al întreprinderii.

Acest fond ar putea fi utilizat pentru trimiterea angajaților la cursuri, conferințe, vizite și schimburi de experiență în afara întreprinderii etc.

Dar chiar dacă se acordă recompense materiale pentru rezultatele obținute de un CC, acestea trebuie împărțite în mod egal între membrii cercului, chiar dacă numai unul din ei a găsit soluția exactă, deoarece toți membrii participă prin munca lor creativă la obținerea rezultatelor.

Scopul de perspectivă al CC din Suedia este acela ca printr-o muncă sistematică și conștientă, să se realizeze „FORMAREA DE ATITUDINI POZITIVE ÎNTRE OAMENI ȘI GRUPURI DE OAMENI ÎN CADRUL ÎNTREPRINDERII".

● **Aspecte din Franța [13] și [4]**

În articolul său „Coordonatorul — cheia cercurilor de calitate", D. Fauconnier prezintă acest „coordonator" care, ajutat de un „comitet (sau grup) de pilotare", de „înlesnitori" (ei fiind necesari numai la firmele mari) și de „animatori", are sarcina de a organiza întreaga activitate începînd cu sensibilizarea întregii ierarhii.

El stabilește politica cea mai adecvată pentru integrarea în planul de îmbunătățire a calității în cadrul firmei, prin stabilirea direcțiilor de progres prioritare, dezvoltarea unor mijloace de informare și de gestiune a calității. În această activitate este ajutat de „Grupul de pilotaj".

„Grupul de pilotaj" stabilește schema internă, precizează modul de funcționare a cercurilor, definește celelalte mijloace de promovare a proiectului, prezintă obiectivele ce se așteaptă a fi rezolvate în cadrul firmei, coordonează activitatea cercurilor și corectează (dacă e cazul) direcțiile de acțiune ale acestora. În plus, periodic, face un bilanț al evoluției și rezultatelor CC din cadrul firmei.

„Înlesnitorii" coordonează între 5—20 cercuri, funcție de timpul ce-l pot consacra acestei activități.

Rolul lor este de a veghea alegerea și formarea „animatorilor" și de a ajuta cercurile să-și realizeze propunerile, intervenind la șefii ierarhici și serviciile funcționale.

„Animatorii" sînt cei care de cele mai multe ori formează la început membrii unui CC (ce cuprinde 5—10 VOLUNTARI) cu ajutorul unei metodologii și cu niște mijloace prestabilite. Ei îndrumă toate activitățile cercului pe care îl animă, dar în mod NEDIRECTIV.

Prin exemplificarea unor „coordonatori" ai unor firme mari, mijlocii sau mici, autorul conturează trăsăturile de caracter, profilul uman aparte al acestor persoane de diverse profesiuni și funcții, calități absolut necesare parcurgerii cu succes a etapelor obligatorii de realizat pentru implementarea și eficientizarea activității CC din cadrul firmelor franceze [4].

AFCERQ (Asociația franceza a cercurilor de calitate) organizează lunar STAGII DE FORMARE a „înlesnitorilor", în două sesiuni a cîte patru zile, din rîndul acestor „înlesnitori" fiind recrutați viitorii „coordonatori".

Lucrarea [4] scoate în evidență sprijinul eficient pe care-l aduc „ziarele" de întreprindere și conferințele periodice (convenții) ce se organizează la nivel de firmă sau la nivel național (de AFCERQ), în care se dezbat principalele probleme legate de funcționarea și realizările CC.

În anul 1979 AFCIQ (Asociația franceză pentru controlul industrial al calității) a elaborat o lucrare cu privire la cercurile de calitate.

Avînd la bază această documentație, în anul 1980 au apărut în cadrul firmei *CITROEN* primele CC, iar în anul 1981 acționau 30 cercuri, care au rezolvat peste 250 probleme.

CC erau formate din 5—8 persoane, participarea era voluntară iar orientarea era spre controlul statistic și AUTOCONTROLUL executantului. Prin control statistic se înțelege un sistem de măsurare a calității cu acțiuni preventive și măsuri corective rapide (deci control activ).

CC aveau ca sarcini înregistrarea deficiențelor, aplicarea riguroasă a prevederilor tehnologiei, studierea volumului și a implicațiilor defectelor, propunerea de îmbunătățiri, dezvoltarea de noi idei avînd ca scop îmbunătățirea calității fabricației.

Membrii CC se întîlneau, din proprie inițiativă, cam de 2 ori pe lună, sub conducerea unui maistru ; durata unei ședințe fiind de 0,5—1,5 ore.

Fiecare membru primește cîte o sarcină de rezolvat, exprimările sînt libere, deschise, toate propunerile fiind luate în considerație (gen brainstorming).

După părerea specialiștilor de la CITROEN, eficacitatea CC a fost bazată pe următoarele imperative :

— sprijin fără rezerve, acordat de Direcția Calitate din uzină ;

— formarea unei echipe (colectiv), animată de o încredere fermă;
— crearea unui sistem informațional specific în sectoarele unde se dorește implantarea CC.

CC din cadrul firmei au condus la îmbunătățirea relațiilor umane din cadrul secțiilor, utilizarea la maxim a aptitudinilor fiecărui muncitor oferindu-i posibilitatea de a participa mai activ la propria sa muncă. Tot personalul firmei a devenit mai conștient de necesitatea îmbunătățirii calității.

La firma *PROQUALES* (echipamente și aparataj de joasă tensiune) au apărut primele CC tot în anul 1980.

Aici CC erau compuse din 6—8 persoane și erau considerate ca niște grupuri de studiu, ce aveau sarcina de a analiza și îmbunătăți problemele legate de procesul muncii și eficacitatea acestuia, de a contribui la creșterea calității produselor prin propuneri de soluții sau măsuri, orientate în principal pe reducerea defectelor, făcute conducerii firmei.

CC utiliza pentru rezolvarea problemelor următoarea metodologie (etapizare):
— definirea problemei și a obiectivelor;
— culegerea și analiza informațiilor;
— propuneri și soluții;
— alegerea soluției;
— stabilirea planului de aplicare și de urmărire (control).

La analizarea problemelor se făcea apel la:
— diagrama cauză-efect (Ishikawa);
— diagrama Pareto;
— tehnici de colectare date și informații;
— tehnici de creativitate;
— tehnici de comunicare;
— bilanțuri de rentabilitate;
— tehnici de prezentare.

Exemplele date de cele două firme de renume din Franța sugerează modul cum activează CC.

● Aspecte din ANGLIA [13]

Cercurile de calitate au apărut pentru prima dată în Anglia în anul 1978, la societatea ROLLS-ROYCE Ltd., sub influența corporației LOCKHEED din S.U.A., cu care avea relații de colaborare.

La Conferința internațională ce a avut loc la Londra în septembrie 1979 pe tema „Acțiunile japoneze de administrare a calității produselor"; au luat cuvîntul K. ISHIKAWA și S. SASAKY, iar expunerea noului concept privitor la *angajarea, implicarea și integrarea resurselor umane* a stîrnit un larg interes. Reacția a fost imediată și pozitivă, o serie de firme din Anglia inițiind CC proprii.

Cu toate eșecurile înregistrate de CC în perioada de început, conceptul de participare în masă a angajaților începe să aibă din ce în ce mai mare succes.

După formarea unui Comitet interimar în anul 1982, ia naștere SOCIETATEA NAȚIONALĂ A CERCURILOR DE CALITATE (N.S.Q.C) al cărei obiectiv este de „a încuraja dezvoltarea sănătoasă a CC în Anglia, combinînd experiența și energia oamenilor".

Printre activitățile ce au fost planificate pentru NSQC sînt:
— menținerea unei „comisii de contacte" între organizații pentru a facilita sprijinul mutual și schimbul de informație și experiență;
— organizarea de Conferințe Naționale anuale;
— instituirea unei biblioteci și a accesului la sursele de informare a practicilor din Anglia;
— facilitarea unor întîlniri cu firmele membre;
— inițierea unui centru pentru dialog constructiv și cooperarea cu persoane oficiale, uniuni comerciale, instituții educaționale și consultanți;
— publicarea de buletine distribuite prin abonament și a unor prospecte, manifeste etc.

Poate fi membrul al NSQC, orice firmă în care există CC în activitate, sau care pregătesc programe de implementare a unor asemenea cercuri.

În ajutorul activității CC, a îmbunătățirii acesteia a venit lansarea în aprilie 1983 a campaniei naționale pentru calitate, campanie sprijinită direct de guvern prin Departamentul de Comerț și Industrie, cît și de o serie de alte departamente și instituții de specialitate.

NSQC face recomandarea ca programele noilor CC să fie declanșate corect, iar instruirea în tehnicile de analiză în probleme de calitate este un element esențial pentru succes.

NSQC recomandă apelarea la consultanți și îi sprijină pe aceștia, publicînd pentru firmele membre ale societății niște liste în care se precizează ce consulanți au fost angajați de companii și în ce scopuri.

Sînt organizate conferințe anuale și conferințe regionale, în urma cărora se tipăresc materiale, relatînd temele și rezultatele CC, care sînt înmînate participanților înainte de finalul conferinței.

Prin grija NSQC apar periodic niște buletine în care sînt relatate activitățile desfășurate de CC și care constituie prețioase surse de informații.

Activiștii regionali sînt cei care catalizează activitatea CC în zonele respective, ei fiind afiliați la firmele cele mai reprezentative din regiunea respectivă.

Din anul 1982, Institutul pentru Știință și Tehnologie al Universității din Manchester a fost angajat să urmărească activitățile CC din Anglia și a publicat mai multe rapoarte detaliate.

NSQC și-a dezvoltat relațiile cu organisme similare din întreaga lume și are ferma convingere că CC din Anglia pot și își vor aduce o contribuție valoroasă la programul național de îmbunătățire a calității, dacă sînt sprijinite de o conducere progresistă.

● **Aspecte din NORVEGIA [13]**

În vara anului 1976 s-a ținut în S.U.A. un seminar cu probleme de calitate, unde s-a prezentat un referat privind experiența și activitatea CC din SUA. În anul 1977 s-a analizat în cadrul Societății Norvegiene pentru Controlul Calității (NKTF) condițiile de implementare a cercurilor de calitate și imediat după aceasta au început cursuri pregătitoare.

Primele 5 CC au apărut în Norvegia în august 1978.

În anul 1980, cu ocazia Conferinței anuale a NKTF a avut loc primul seminar național privind activitatea CC din Norvegia.

În urma cursurilor pregătitoare, la începutul anului 1982 apăruseră CC în circa 50 de întreprinderi în care erau peste 10 000 de membri din diferite domenii : turbine, echipament electric, nave, oțeluri, biciclete, mobilă, produse alimentare, scule de pescuit și produse de pescărie, minereuri.

Majoritatea CC erau compuse din 7—8 membri, înscriși voluntar, iar întîlnirile de lucru se țineau în medie de 1—2 ori pe lună.

CC erau conduse de obicei de cadre medii, iar mai rar de muncitori sau ingineri.

Rezultatele activității CC erau notabile, iar recompensarea se făcea prin participări la excursii pentru schimb de experiență în alte unități, evidențieri etc.

Ca urmare a săderii numărului de defecte a rezultat o implicită creștere a salariilor.

Un mare cîștig al activității CC a fost creșterea conștiinciozității în aplicarea AUTOCONTROLULUI.

În urma experienței acumulate în activitatea CC, norvegienii au ajuns la următoarele concluzii :

— să se asigure timp pentru informarea tuturor salariaților despre problemele abordate de CC și să se popularizeze rezultatele ;

— să nu se pretindă rezultate imediate după formarea CC ;

— să se creeze un climat de colaborare și responsabilitate ;

— să se acorde atenție deosebită primelor probleme ce și le propun spre rezolvare ;

— fiecare cerc își impune propria disciplină și propriul program de desfășurare a ședințelor, în majoritate peste orele de program ;

— să se prevadă intrarea în CC a unor persoane cu pregătire tehnică diferită.

● **Aspecte din S.U.A. [13]**

Mulți ani a existat concepția că CC sînt un produs specific japonez. În realitate, ideea cercurilor este, în mare parte, rezultatul influenței consultanților americani în Japonia, dr. E. Deming și dr. J. Juran.

Cu toate avantajele ce decurgeau din prezența celor doi consilieri americani de renume mondial, primul CC a apărut în S.U.A. prin anul 1972.

Dar de-abia între anii 1977—1980 s-a înregistrat în SUA un progres serios în activitatea CC, perioadă cînd în 1978 s-a înființat IAQC (Asociația Internațională a Cercurilor de Calitate).

Din anul 1979 au loc sesiuni anuale organizate de IAQC, la care participă specialiști din toate țările afiliate la ea și unde se prezintă tot felul de probleme legate de activitatea CC.

Cam în aceeași perioadă cu înscrierea primelor CCC în Japonia (anul 1962), în SUA s-a pornit mișcarea „zero defecte" (ZD), care după o perioadă de timp s-a dovedit a fi fost fără viitor, deoarece motivația acestei mișcări era de natură psihologică („Faceți lucrurile bine de prima dată") și nu științifică.

Activitatea CC din SUA are multe laturi asemănătoare cu cea desfășurată în țările VEST-europene, ceea ce face ca rezultatele obținute să nu fie comparabile cu cele ale CCC din Japonia.

Critici la adresa CC din țările VEST-europene și SUA

Față de definiția Japoneză a cercurilor pentru controlul calității, apărută în anul 1980 în versiunea engleză a lucrării „Q. C. Circle Koryo", J. M. Gogue opune alte două definiții utilizate în Europa (J. Volle — a 25-a Conferință EOQC, Paris, 1981 și O. Alexanderson — a 26-a Conferință EOQC, Amsterdam, 1982) :

Definiția 1 (Europa)

CC este un grup mic de oameni ai muncii dintr-un același sector de activitate, care se ÎNTÎLNESC REGULAT, în mod VOLUNTAR, cu scopul de a IDENTIFICA, de a ANALIZA și de a REZOLVA probleme ale calității sau de altă natură, în legătură cu munca lor, aplicînd cunoștințele lor prealabile referitoare la metode specifice, în special cele STATISTICE.

Definiția 2 (Europa) :

CC este un grup mic de persoane de la un același loc de muncă și avînd activități similare, care se întîlnesc cu SUPERIORUL lor în scopul de a IDENTIFICA, de a ANALIZA și de a rezolva probleme. În plus cercul de calitate este caracterizat prin :

— participare voluntară și deschisă a tuturor ;

— cercul se reunește 1 oră/săptămînă sau 2 ore la 15 zile în timpul programului de lucru ;

— membrii grupului hotărăsc ei înșiși asupra căror probleme vor lucra ;

— activitatea este depusă sistematic, utilizînd cîteva tehnici simple de rezolvare a problemelor.

Diferențe semnificative ale celor două definiții din Europa față de Japonia :

A. Elemente suprimate în definițiile europene :

— în permanență

— activităţile de control al calităţii;
— apartenenţa CCC la sistemul de control al calităţii din întreprindere;
— instruirea şi dezvoltarea personală şi reciprocă;
— stăpînirea activităţilor şi perfecţionarea desfăşurării acestora.

B. Elemente adăugate de definiţiile europene:

— cu regularitate;
— cu superiorii lor;
— rezolvarea de probleme;

C. Elemente neutre:

— animatorul;
— responsabilitatea (implicarea) conducerii întreprinderii;
— europenii vor să controleze fără să se implice.

Deci, apreciază specialistul francez, se constată diferenţe flagrante şi fundamentale, fapt care conduce la concluzia că spiritul CCC a fost grav, deformat şi că, nu din întîmplare, conceptul *permanenţei* a fost înlocuit cu cel de *regularitate*, controlul calităţii a fost în întregime omis, accentul a fost pus pe legăturile ierarhice, apare ideea rezolvării problemelor, în timp ce a dispărut aceea a stăpînirii activităţilor şi perfecţionarea desfăşurării acestora.

J.M. Gogue, concluzionează în această privinţă că, ideile care au stat la baza creării CCC în Japonia sînt nevandabile conducătorilor de întreprinderi din VEST.

Referindu-se la revoluţia ştiinţifică în calitate din Japonia, specialistul suedez O. Alexanderson, subliniază obligativitatea parcurgerii celor trei etape ale revoluţiei în calitate [1] şi arată că în Vest dezvoltarea a fost diferită, încercîndu-se în mod incorect trecerea de la etapa 1-i (care s-a rezolvat la fel ca în Japonia) direct în etapa a treia (CCC) ocolindu-se etapa a doua (Sistemul calităţii la nivelul întreprinderii).

Această eroare rezultă şi din pregătirea diferită a conducătorilor întreprinderilor, cei din Vest şi S.U.A. avînd cunoştinţe numai din două domenii: cel din care a promovat şi cel economic; conducătorii japonezi mai au în plus de aceste două domenii şi cunoştinţe despre controlul calităţii.

Din aceste motive conducerile întreprinderilor din Vest nu s-au putut implica în problemele referitoare la calitate.

Făcînd un paralelism între părerile specialiştilor, D. Fauconnier (care declara că „COORDONATORUL" este cheia CC) şi O. Alexanderson (care critica încercarea de a se ocoli organizarea „Sistemului calităţii la nivelul întreprinderii" de către ţările Vest-europene şi S.U.A.), constată că adevărata cheie a succeselor repurtate de CCC este realizarea etapei a doua a revoluţiei în calitate, înfăptuită de japonezi [4] şi [1].

Profesorul japonez K. Ishikawa evidenţia [8] înainte de anul 1970 (cînd au început să apară în Europa primele experimente după modelul japonez), că SUCCESUL confruntării dintre CCC şi problemele nenumărate supuse rezolvării, DEPINDE ÎN ÎNTREGIME de înţelegerea şi sprijinul CONDUCERII întreprinderii.

Aceeaşi idee este îmbrăţişată de majoritatea specialiştilor din ţările industrializate: americanii O.A.Kral [10] şi W.S. Rieker [12], J.M. Juran [9], englezul D. Hutchins [6], norvegianul A. Aune [3], şi alţii.

Nu este de mirare, deci, că aşa cum afirmă specialistul japonez J. Noguchi [11] interesul celor care vizitează Japonia azi, în scopul schimbului de experienţă în domeniul calităţii produselor se modifică din ce în ce, dinspre CCC, spre problema mult mai complexă a introducerii în întreprinderi a unui sistem al calităţii după modelul japonez.

La conferinţa EOQC — Madrid 1983, specialistul francez J.M. Gogue [5] face o critică severă a modului de abordare de către ţările europene de Vest a fenomenului CCC, sistematizînd cauzele eşecurilor multor CC în următoarele categorii:

a. DEFINIŢIA japoneză a CCC, stabilită pentru clarificarea sensului activităţii acestora în Japonia, se diferenţiază flagrant şi fundamental la europeni, ceea ce conduce la concluzia că spiritul CCC a fost grav deformat, iar ideile care au stat la baza formării acestora în Japonia nu sînt vandabile conducătorilor de întreprinderi din Vest;

b. APARIŢIA „ANIMATORULUI", care NU APARE în practica japoneză, are scopul de a suplini slăbiciunile CC din întreprindere şi lipsa de pregătire a maiştrilor şi şefilor de echipe: „ANIMATORUL" trebuie privit ca o SOLUŢIE CU TOTUL PROVIZORIE.

c. RESPONSABILITATEA DIRECTORILOR GENERALI ai întreprinderilor din Vest şi S.U.A. se rezumă la controlul sistemului calităţii fără să se implice în acesta, în speranţa că îmbunătăţirea situaţiei întreprinderii depinde în special de modificarea comportamentului muncitorilor.

d. INFORMAŢIA predominantă în întreprinderile europene este cea descendentă, în cele mai bune cazuri ea nu se opreşte decît la nivelul inginerilor, cu toate că directorii generali îşi fac multe iluzii referitoare la calitatea sistemului informaţional al întreprinderilor.

În Japonia s-a dezvoltat informaţia şi pe orizontală prin introducerea controlului statistic al calităţii, însă prin organizarea unui sistem informaţional al calităţii, informaţiile se pot propaga descendent pînă la nivelul maistrului, iar prin crearea CCC s-au extins pînă la nivelul muncitorului; totodată, informaţiile pot circula

și ascendent de la nivelul muncitorului pînă la conducerea superioară.

Dacă aceste cercuri sînt înființate prematur, cum este adesea cazul în Europa [5], CC au mari dificultăți în a supraviețui, datorită lipsei unui mediu informațional corespunzător.

Ca și Gogue, prof, K. Ishikawa, care a formulat CONCEPTUL CCC, este de aceeași părere, deoarece într-un interviu acordat revistei „Internațional Management", preluat pentru publicare și de „Revue-AFCIQ" sub titlul „Părintele CCC pune la îndoială longevitatea acestora în țările occidentale", precizează că acest concept pare să se fărîmițeze într-o multitudine de variante, neconforme conceptului original, pentru că, în Vest conducerile superioare ale întreprinderilor prezintă o profundă lipsă de angajament față de calitate, privind aceste cercuri ca un leac universal pentru toate problemele lor referitoare la calitate.

3. Aspecte din activitatea cercurilor calității din R.S. România [13—15]

În ultima perioadă de timp au apărut și în România cercurile calității (CC), ca mijloc și formă eficace de participare activă a oamenilor muncii la ridicarea continuă a nivelului tehnic și calitativ al produselor și serviciilor.

Această nouă inițiativă muncitorească, de organizare și generalizare a CC, ținînd seama de caracteristicile specifice orînduirii noastre socialiste, este condusă de sindicate.

La baza organizării și funcționării CC în majoritatea întreprinderilor metalurgice și constructoare de mașini stau niște HOTĂRÎRI ale consiliilor oamenilor muncii și comitetelor sindicale, ce au fost apoi dezbătute cu toți oamenii muncii în cadrul grupelor sindicale.

În baza acestor HOTĂTÎRI, comitetele sindicatelor de întreprindere, comitetele organizațiilor sindicale de secții și birourile grupelor sindicale organizează CC formate din 3—8 membri reuniți pe baza *liberului consimțămînt*, dornici să contribuie activ la studierea și îmbunătățirea proceselor de producție, a muncii în general.

CC din România, reprezentînd o formă specifică sindicatelor, de analiză și dezbatere a problemelor, cu o activitate proprie, *nu sînt tutelate* de conducătorii locurilor de muncă, de organele CTC sau alte cadre administrative. CC sînt *organizate, conduse și îndrumate de sindicate*, prin organizațiile lor de secție și birourile grupelor sindicale.

Numărul de CC trebuie să fie *stabilit* în cadrul fiecărei grupe sindicale, în funcție de specificul activității, de complexitatea și diversitatea problemelor.

Avînd un caracter de masă, activitatea CC condusă și îndrumată de sindicate *trebuie să cuprindă practic pe toți* cei care participă la realizarea produselor.

Participarea unor *specialiști* de la alte secții și servicii, cadre cu înaltă pregătire profesională și experiență, la analizarea și soluționarea unor probleme de strictă specialitate, are un caracter *temporar*, aceștia nefiind membri permanenți ai CC respectiv.

Din experiența acumulată pînă în prezent se recomandă ca CC *să se reunească* de *1—2 ori pe lună*, sau ori de cîte ori se ivește vreo problemă deosebită privind calitatea produselor fabricate. *Durata* acestor consfătuiri nu trebuie să depășească *1 oră*.

Se recomandă ca în cadrul CC să existe și *cadre bine calificate*, cît și *cadre în curs de formare*.

Responsabilul CC va fi ales de către membrii componenți, din rîndul celor mai pregătiți oameni ai muncii (muncitori de înaltă calificare, tehnicieni, maiștri, ingineri), care își desfășoară activitatea în mod permanent împreună cu ceilalți membrii ai CC.

CC se vor organiza nu numai în secțiile productive, ci și în toate compartimentele întreprinderii.

CC își desfășoară activitatea pe bază de *programe de lucru* prin care membrii cercurilor sînt informați din timp asupra *temelor* ce urmează a fi supuse dezbaterilor în consfătuirile cercurilor, pentru a fi soluționate. Temele vor fi stabilite în prealabil pe baza cercetărilor și analizelor proprii efectuate de membrii cercurilor, cît și *pe baza sugestiilor* primite de la șefii de secții, ateliere, maiștri și personalul CTC etc., din sectorul respectiv de activitate. Membrii CC vor hotărî asupra temelor ce vor fi incluse în programul lor de activitate.

Cunoașterea din timp a temelor respective va crea posibilitatea fiecărui membru al cercului să se documenteze din diverse surse, astfel încît să poată participa competent la dezbaterea și soluționarea problemelor puse în discuție.

Experiența a dovedit că o mare eficacitate o are propaganda tehnică, consfătuirile periodice ale cercurilor calității, schimburile de experiență, buletinele care cuprind soluțiile cele mai bune adoptate de CC, gazetele de perete ale cercurilor și alte asemenea măsuri care permit membrilor cercurilor să se informeze asupra soluțiilor și metodelor folosite de CC fruntașe pe întreprindere.

Un rol deosebit în cunoașterea și urmărirea aplicării propunerilor făcute în CC îl are *sistemul de evidență*, care trebuie să funcționeze ireproșabil de la nivelul cercului pînă la conducerea întreprinderii.

Se recomandă ca *răspunderile și atribuțiile* CC să fie bine cunoscute de toți lucrătorii unității.

Fiecare CC își întocmește un *caiet propriu*, în care să se evidențieze toate propunerile făcute în consfătuirile de lucru de către membrii cercului. *Nu este permis a se omite sau respinge*

vreo propunere făcută în cadrul consfătuirii cercului.

Se recomandă ca înaintea începerii dezbaterilor, participanții să fie instruiți și orientați în prealabil să facă *propuneri bine întemeiate din punct de vedere tehnic și economic*, să nu vină cu idei sau sugestii care să antreneze cheltuieli neeconomicoase, care să nu fie oportune etapei actuale a activității.

Caietul CC trebuie întocmit cît mai concis, scris de mînă citeț; pe copertă se va menționa denumirea cercului, iar pe prima pagină se va menționa componența cercului, începînd cu responsabilul și urmînd cu ceilalți membri.

Propunerile se numerotează, fiecare propunere trebuind să exprime clar ideea autorului, să menționeze efectul economic estimat prin aplicarea propunerii în decurs de un an de zile, să sugereze modul de rezolvare a propunerii și să sublinieze autorul ei. În dreptul fiecărei propuneri se va trece decizia adoptată de responsabilul CC.

Aceste decizii pot fi de trei categorii și anume :

1. Dacă măsura este de competența membrilor CC și este oportună se va menționa *cine și pînă cînd o va realiza.*
2. Dacă propunerea este oportună, dar depășește competența de aprobare și posibilitățile de execuție ale CC, atunci se va menționa : „S-a trimis spre rezolvare șefului de secție (serviciu)".
3. Dacă propunerea este necorespunzătoare se va menționa : „propunerea nu este oportună".

Conducerea grupei sindicale sau a comitetului sindical de secție are sarcina să *controleze* modul cum sînt completate caietele CC și să ia măsuri prompte de îmbunătățire a acestora. Propunerile de îmbunătățiri ce nu intră în competența de aprobare și aplicare a CC sînt înaintate șefilor de secții (servicii) spre soluționare. Șeful secției are un caiet sau registru de evidență a propunerilor primite de la responsabilul CC; aceste propuneri sînt analizate împreună cu specialiștii din secție (tehnolog secție, șef compartiment CTC secție, mecanic șef secție etc.), stabilindu-se termene și responsabilități pentru aplicare.

Propunerile ce intră în competența conducerii întreprinderii vor fi înaintate comisiei calității la C.O.M.

Se recomandă ca la schimburile de experiență ale CC din întreprinderi să se expună cele mai complete caiete ale CC, registre pe secții și servicii cît și registrul pe întreprindere, pentru ca sistemul de evidență adoptat să fie continuu perfecționat.

De asemenea se recomandă ca la 1—2 luni fiecare CC se prezinte în adunarea grupei sindicale un scurt *raport* asupra activității sale și unele propuneri de îmbunătățire pentru viitor.

Biroul grupelor sindicale va propune periodic comitetelor de secție și, respectiv, comitetului sindicatului pe întreprindere, CC cu cele mai bune rezultate, cît și cele mai eficiente propuneri aplicate, pentru a fi evidențiate, popularizate și stimulate material.

Dar activitatea CC nu poate da rezultate satisfăcătoare decît în condițiile însușirii unor cunoștințe și tehnici noi de analiză și soluționare a diverselor probleme, pe care le ridică modernizarea și perfecționarea muncii, în activitățile specifice fiecărei zone de cuprindere a acestora. În acest sens, fiecare comitet sindical de întreprindere trebuie să-și elaboreze un plan anual de instruire a întregului personal pe problemele calității, punîndu-se un deosebit accent pe membrii și responsabilii CC și în mod *prioritar pe cadrele de conducere* de la toate nivelurile.

Pentru ca CC să acționeze în cunoștință de cauză ele trebuie să primească sistematic din partea lucrătorilor CTC și din zona respectivă toate datele necesare privind evoluția calității, eventualele reclamații sau sugestii ale beneficiarilor și alte elemente statistice sistematizate în grafice, histograme, diagrame, tabele etc.

Cele mai importante mijloace de analiză, utilizate de CC, sînt :

— diagrama Pareto (sau metoda ABC, sau metoda 20/80);
— diagrama cauză — efect (Ishikawa);
— metoda demeritelor;
— etc.

Aspecte ale activității cercurilor de calitate din întreprinderile „Electroaparataj" „Electronica" București, „Electroputere" —Craiova și alte unități economice sînt prezentate în lucrarea [13].

Menționăm că în septembrie 1986 și în aprilie 1987 Comitetul Uniunii Sindicatelor din Metalurgie și Construcții de Mașini a organizat un schimb de experiență și o consfătuire pe ramură cu cadrele sindicale, unde s-a analizat modul cum decurge activitatea CC-urilor din unitățile ramurii și perspectivele de viitor ale generalizării CC în toate întreprinderile.

Consfătuirea din 1987 s-a finalizat cu un plan de 20 de măsuri menite să îmbunătățească activitatea CC în vederea creșterii contribuției la ridicarea continuă a nivelului tehnic și calitativ al produselor, reducerea consumurilor normate de materii prime, materiale, combustibili și energie, a cheltuielilor de producție, creșterea mai accentuată a productivității muncii, îmbunătățirea condițiilor de muncă a personalului muncitor.

În octombrie 1987 a fost difuzat spre unități un „REGULAMENT pentru organizarea și funcționarea cercurilor calității" editat de Consiliul Central al U.G.S.R.

Se vor prezenta în mod succint unele prevederi ale Regulamentului [15] ce constituie aspecte noi ale activității CC, față de cele prezentate anterior :

— membrii CC vor purta, în timpul programului, un semn distinctiv (ecuson, banderolă sau insignă);

— coordonarea permanentă a activității CC dintr-o unitate, precum și îndrumarea lor tehnică de specialitate se asigură de către Comisia Inginerilor și Tehnicienilor, care desemnează în acest scop un cadru tehnico-ingineresc.

Comitetele sindicatelor și consiliile oamenilor muncii, împreună cu organele de CTC și I.G.S., vor organiza instruirea periodică a îndrumătorilor și membrilor CC cu problemele specifice fiecărui loc de muncă și cu cele de ansamblu ale unității, instruiri la care vor participa specialiști din unitatea respectivă, cît și din centre și institute de cercetare, inginerie tehnologică și proiectare;

— CC participă la perfecționarea pregătirii profesionale a personalului muncitor pe probleme de calitate.

— CC organizează, cu sprijinul comitetelor organizațiilor sindicale de secție și al birourilor grupelor sindicale, dezbateri operative cu oamenii muncii ori de cîte ori apar deficiențe de calitate, în vederea stabilirii măsurilor pentru eliminarea și prevenirea acestora;

— în situația cînd CC constată nerespectarea prescripțiilor tehnologice sau a instrucțiunilor de control la alt loc de muncă al unității decît cel în cadrul cărora își desfășoară activitatea, acesta va colabora cu CC de la locul de muncă în cauză, în vederea înlăturării neajunsurilor și soluționării problemelor;

— pentru a analiza modul de realizare a proiectelor de acțiuni, CC se întrunesc săptămînal sau ori de cîte ori este nevoie, *în afara* programului de lucru.

4. Concluzii

— CCC au apărut în Japonia în urmă cu douăzeci și ceva de ani, ca efect al înfăptuirii revoluției în domeniul calității, constituind în momentul de față un fenomen de masă, condus de JUSE, printr-un departament central și opt departamente regionale.

Numai parcurgerea tuturor etapelor ca în revoluția japoneză, poate conduce la rezultate asemănătoare.

— Țările Vest-europene și S.U.A. au încercat ocolirea etapei a doua, de constituire a „Sistemului calității la nivelul întreprinderii" și au pus prea mare bază în posibilitățile CC, ceea ce a condus la clacarea multora din ele.

—Țara noastră se află în etapa I-i, pe care nu a realizat-o încă în totalitate, iar în paralel se încearcă punerea bazelor necesare trecerii la etapa a II-a „Sistemul calității la nivelul întreprinderii", sau cum mai este denumit în România S.A.C., care va trebui să conțină toate componentele sistemului japonez, pentru a avea eficiența scontată.

Există încercări de înființare și funcționare a unor CCC în România însă indiferent de unele rezultate obținute, nu trebuie neglijată calea parcursă de Japonia în această problemă și eșecurile unor țări dezvoltate din Europa de Vest și S.U.A.

Pentru realizarea unor CCC eficiente în România este necesar a se lua în considerare un anumit interval de timp pentru producerea saltului calitativ în CUNOȘTINȚELE ȘI CONȘTIINȚA tuturor oamenilor muncii. Totodată este necesară înființarea unui organism și a unei publicații proprii, la nivel național, care să realizeze comunicarea și informarea asupra activității desfășurate de CCC din unități și a rezultatelor obținute.

Adaptînd la condițiile concrete din țara noastră experiența japoneză, mișcarea pentru calitate din România, care se face simțită din ce în ce mai pregnant, va putea și trebuie să conducă la asemenea rezultate, care să permită o creștere continuă a nivelului de trai, reducerea decalajelor existente în unele domenii și situarea țării noastre în rîndul țărilor dezvoltate.

Bibliografie

[1] *Alexanderson, O.* Quality Circles Versus Quality control Cease File. În: Proceedings of WQC '84, vol. 2, Brighton.

[2] *Anderson, B.* Quality Circles — A Challenge to Modern Quality Control. În: Proceedings of WQC '84, vol. 2, Brighton.

[3] *Aune, A.* Quality Circles. A Prerequisite for QWQC. În: Proceedings of the EOQC Conference, Amsterdam, 1982.

[4] *Fauconnier, D.* Le Coordonnateur la cele des cercles de qualite. În: L'usine nouvelle. Nr. 40 — 3 Octombre 1985.

[5] *Gogue, J. M.* L'avenir des cercles de Qualite en Europe. În: Proceedings of the EOQC Conference, Madrid 1983.

[6] *Hutchins, D.* Quality Circles — The Management Vacuum. În: Proceedings of WQC '84, vol. 2, Brighton.

[7] *Ishikawa, K.* Le pere des cercles de qualité met en doute leur longevite dans les pays occidentaux. În: Revue AFCIQ, vol. XIX, 1, mars, 1983.

[8] *Ishikawa, K.* QC Circles Activities. În: Reports of Stat. Appl. Res. JUSE, vol. 16, nr. 3, 1969.

[9] *Juran, J. M.* The QC Circle Phenomenon. În: Industrial Quality Control. vol. 23, nr. 7, ianuarie 1967.

[10] *Kral, O. A.* Top management's Active Role: A Crucial condition for Quality. În: Proceedings of WQC 84, vol. 1 Brighton.

[11] *Noguchi J.* Juse's Role in Japanese Quality Control. În: Proceedings of WQC'84, vol. 1, Brighton.

[12] *Ricker, W. S.* QC Circles as Quality Motivators: Status in the United States. În: Proceedings of WQC'84, vol. 1, Brighton.

[13] *Antonescu, V.* ș.a. Îndrumar și materia documentar privind cercurile de calitate, București, OID—ICIEt, 1987.

[14] Uniunea Sindicatelor din Metalurgie și Construcția de Mașini. Cercurile calității. Valoroasa inițiativă a sindicatelor, mijloc și formă eficace de participare activă a oamenilor muncii la ridicarea continuă a nivelului tehnic și calitativ al produselor și serviciilor, București, 1987.

[15] Uniunea Generală a Sindicatelor din R.S.R., Consiliul Central. REGULAMENT pentru organizarea și funcționarea cercurilor calității, București, 1987.

CRONICI

Tîrgul Internaţional de Construcţii Mecanice BRNO 1987

În luna septembrie 1987 s-a desfăşurat la Brno cea de a 29-a ediţie a Tîrgului Internaţional de Construcţii Mecanice. Tema dominantă a acestei ediţii „Tehnologii moderne pentru industria mecanică" a constituit obiectul unui ansamblu de manifestări ştiinţifice şi tehnice cu largă participare a specialiştilor.

În cadrul programului de manifestări ştiinţifice şi tehnice a avut loc cea de a XXIV-a Conferinţă Internaţională a Redactorilor Presei Tehnice (14—76 septembrie 1987), ale cărei lucrări s-au referit la : *noi concepţii în domeniul uzinajului mecanic; procedee de automatizare a acestuia: tehnologii eficiente de formare; tehnologii de protecţie contra coroziunii; sisteme flexibile de producţie.*

Programul conferinţei a cuprins tratarea teoretică a problemelor, vizitarea standurilor şi a unei uzine moderne în care se foloseşte un sistem flexibil de fabricaţie, precum şi vizite culturale, care au făcut cunoscut ziariştilor prezenţi nivelul profesional, cultural şi social atins de R. S. Cehoslovacă.

Lucrările treoretice susţinute cu acest prilej au inclus :

• Maşini-unelte 1987, în care s-a tratat despre concepţiile avansate privind maşinile şi echipamentele fabricate de principalii constructori mondiali şi cehoslovaci în domeniul maşinilor-unelte.

• Tratamente termice şi formarea ministraturilor în cuptoare cu vid.

• Maşini pentru tratarea materialelor plastice.

• Aplicaţii ale microcalculatoarelor la comanda sistemelor flexibile de producţie în turnarea sub presiune a materialelor plastice.

• Noi materiale metalice pentru electronică şi produsele metalurgiei pulberilor.

Nomenclatura Tîrgului a fost centralizată pe 18 grupe de produse, care au asigurat un nivel profesional elevat ;

1. Maşini-unelte şi maşini lucrînd prin deformare, piese şi accesorii.

2. Utilaj minier, metalurgic şi, instalaţii de foraj, instalaţii de formare.

3. Maşini şi utilaje pentru industria chimică şi ceramică.

4. Maşini, utilaje şi materiale pentru industria textilă.

5. Raţionalizarea muncilor administrative şi de birou.

6. Informatică.

7. Tehnică de automatizare şi reglaj.

8. Pompe, compresoare, motoare cu combustie, instalaţii hidraulice şi de irigaţii.

9. Piese şi elemente de maşini, cutii de viteze, variatoare, echipamente hidraulice şi pneumatice.

10. Producera energiei electrice clasice şi nucleare, centrale termice.

11. Electrotehnica curenţilor tari.

12. Utilaje şi materiale de construcţii.

13. Transporturi. Maşini şi utilaje de service municipal.

14. Maşini agricole.

15. Materiale pentru construcţii de maşini.

16. Electrotehnică şi telecomunicaţii.

17. Tehnică sanitară.

18. Tehnica măsurării şi aparatură de birou.

R. S. Cehoslovacă a fost prezentă la această a 29-a ediţie a tîrgului cu următorii expozanţi : Ceramica cehoslovacă, Chirana, Feromet, Glassexport, Intersigma, Inspekta, Kerametal, Kovo, Martimex, Mercuria, Metalimpex, Motokov, Omnia, Omnipol, Polytechna, Pragoinvest, Skodaexport, Skoda Plzen, Strojexport, Strojimport, Tehnoexport, Technopol, Transakta, Tuzex, Vitkovice, ZSE.

Dintre aceştia vor fi menţionaţi în cele ce urmează expozanţii cu produse în profilul maşini-unelte, electrotehnică, electronică şi automatizări, tehnică informaţională etc.

• **Strojimport**, răspunzînd tendinţei mondiale în domeniul construcţiilor mecanice a intensificat trecerea progresivă la automatizarea flexibilă şi robotizarea locurilor de lucru. A prezentat : **maşina-unealtă fără operator, MCFHD—80 BOS** realizată de TOS Kuřim, care este un centru de uzinare orizontal comandat automat, înglobînd, pe lîngă comanda uzinajului, o manevrare automată a sculelor, a pieselor de lucru şi a evacuării deşeurilor de uzinare. Operatorul nu execută decît muncile pregătitoare în fazele finale. Acest centru poate fi conectat la un calculator şi poate fi încorporat într-un sistem flexibil de fabricaţie.

Printre produsele de concepţie spectaculară a fost prezentat un ansamblu tehnologic robotizat destinat fabricării de angrenaje. Ansamblul se compune din două centre robotizate reunite.

În expoziţia Strojimport au mai fost expuse : **centre de uzinaj orizontal cu schimbarea automată a paletelor tip MCFH 40, centrul de uzinaj FSQD 63 CNC cu masă de poziţionare cu palete, centrul de formare mecanizată TVL 400 P01 şi altele.**

• **Grupul ZSE Praga,** care realizează peste 80% din volumul de producţie a tehnicii curenţilor tari din Cehoslovacia, este unul din sectoarele decisive din industrie. Expoziţia acestui grup a cuprins, printre altele, **o nouă tehnologie de tratament termic şi chimic sub vid al produselor.** Pentru constructorii de maşini-unelte a expus un **sistem modular cu microprocesor MPK 80.** Sistemul este prevăzut pentru comanda maşinilor-unelte şi a instalaţiilor tehnologice.

Ca o noutate a fost prezentat **distribuitorul vn 12kV IRONG.**

• **Intreprinderea de comerţ exterior KOVO** a prezentat un ansamblu de noutăţi în domeniile sistemelor de măsurare, aparatelor de laborator şi calculatoarelor. Dintre acestea se pot menţiona: **multimetrul MIT 380; unitate pentru înregistrarea fenomenelor tranzitorii RECORDER 4 TR—2M; holografulAritma 05012** un sistem grafic periferic care poate fi racordat la toate calculatoarele din seria CCITTV 241V.28).

Pentru sectoarele electronică, telecomunicaţii, sisteme de automatizare şi reglaj au fost prezentate: **sistem descentralizat de comandă DERIS 900;** o nouă serie de **circuite integrate TESLA; calculatorul de 16 bit PC 88, PTK 0384; bobinatorul automat SC 1590B** pentru condensatoare plastice; seria de **conectoare WK 18080—91, WK 40733—36, ZWK 90314 (KO 10) ZWA 47518 (KO 13)—Tesla.**

Ca un produs deosebit din epoziţia KOVO poate fi menţionată **staţia cosmică din a doua categorie,** expusă pe 100 mp în aer liber, executată de TESLA—Hloubetin.

• În gama de produse expuse de **Intreprinderea de Comerţ Exterior MERKURIA** a fost inclus un bogat sortiment de maşini de frezat şi de turnat, scule portabile, perforatoare electrice portabile EV-26 şi EV—32 2S de mare putere (1 200W). Printre produsele noi se numără **ferăstrăul circular electric EPK16-S, maşini de spălat automate tip APS 8 M, PB8 şi APS 8—C** pentru spălătoriile hoteliere şi colective, care prezintă avantajele manevrării uşoare, al economiei de timp şi de energie; **sterilizatoare ultraviolet de masă UF—ST 1; aparate şi sisteme de cronometrare electrice şi electronice** (orologii tip C 401, cu suspensie pe perete în spaţii acoperite şi tip PKD 27, cu suspensie pe tavane, ceasuri digitale cu calendar etc.).

În domeniul electronicii Mercuria a prezentat o **memorie pe disc flexibil PFD 251** care poate fi conectată ca un periferic, prin intermediul unui modul de unitate de comandă DISC 2, la un microcalculator IQ 151. Capacitatea memoriei este de $2 \times 3{,}2$ Mbit.

• Expoziţia **PRAGOINVEST** a suspus atenţiei vizitatorilor: **sisteme de comandă şi comunicaţii Mark,** desinate comenzii automate a diferitor procedee tehnologice; **motorul asincron AV 226 I—04HW1** cu puterea de 4 000 kW pentru acţionarea turbocompresoarelor; o serie de **presefiltre LFPP şi PFAP şi indicatoare electronice de suprasarcină EIP 014 V** montate pe noile tipuri de macarale AV 14 şi ADA 20.

• **Grupul CHIRANA** — cel mai mare constructor de aparatură medicală din Cehoslovacia — a prezentat următoarele produse: **aparate electronice medicale** (electrocardigografe, defibrilatoare, aparate operatorii de înaltă frec-

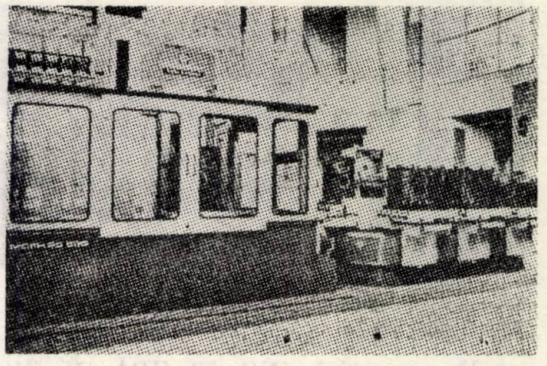


Fig. 1

venţă etc.); **aparate de anestezie şi respiraţie; cabinete stomatologice complete ERGOSTAR 90; sterilizatoare etc.**

În cadrul celei de a 29-a ediţii a Tîrgului Internaţional de Construcţii Mecanice de la Brno a avut loc, ca în fiecare an, concursul pentru medalia de aur a Tîrgului. Un juriu, compus din specialişti pe domenii, a apreciat şi evaluat produsele concurente în funcţie de parametrii lor tehnici şi economici, ca şi de aspectul estetic şi ecologic. S-au decernat 46 medalii de aur, din care 24 au fost decernate unor produse din R. S. Cehoslovacă.

Printre produsele medaliate se numără:

— **Maşina-unealtă fără operator MCFH 80 BOS** (fig. 1), fabricată de TOS Kuřim — Cehoslovacia şi expusă de STROJIMPORT Praga. Aceasta este o concepţie originală a unui post de lucru fără nici un operator, destinat uzinării pieselor în formă de chesoane plate sau în formă complicată, din fontă, oţel topit şi din aliaje uşoare pînă la dimensiunile de 800 × 800 × 800 mm. Maşina execută automat, prin intermediul unui multiprocesor SINUMERIC 850 M al firmei Siemens, controlul activ al desfăşurării uzinajului, reglarea şi corecţia cuţitului, reglajul adaptiv al procedeului de uzinare şi diagnosticul grupurilor electronice. Un sistem automat verifică rezistenţa sculelor, corectînd defecţiunile, respectarea toleranţelor suprafeţelor uzinate şi a altor funcţiuni cerute de funcţionarea operatorului.

Maşina este o cooperare a constructorilor de maşini, electrotehnicienilor şi electroniştilor din întreprinderea TOS Kuřim şi ai altor specialişti din grupul TST-Praga.

— **Post de uzinare a elementelor nerotative SKODA — P — WO 180 NC,** fabricant: SKODA, expozant: STROJIMPORT Praga. Acest post constă dintr-o mașină de frezat și alezat orizontal cu înveliș contrapunct WQ 180 NC și schimbarea automată a sculelor. Fiind completat cu masă, mijloace de manevrare, sisteme electrice, hidraulice și electronice, acesta devine un post automatizat de uzinare precisă a pieselor mari, de forme complicate. Sistemul de

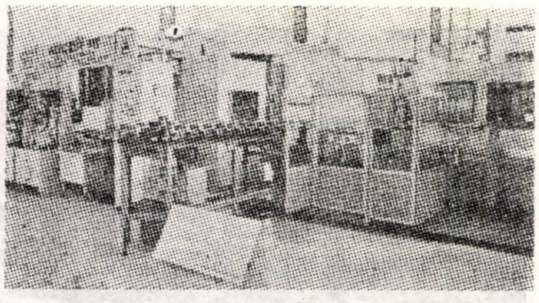


Fig. 2

comandă numerică (NS 70 ZPA Košiře cu SINUMERIC 8503880 al firmei Siemens) este organizat convenabil chiar și pentru comanda altor funcțiuni impuse de nevoile beneficiarilor.

— **Ansamblu tehnologic robotizat pentru producerea angrenajelor AUCOR 16,** contructor: TOS Celākovice, expozant: STROJIMPORT Praga. Este un ansamblu fără operator (fig. 2), constînd dintr-un sistem de fabricație, manevrare, măsură, comandă și un sistem de mașini-unelte (strung semiautomat SPS 2/25 NC); mașină de șlefuit angrenajele din generația OHA 32 NC; roboți industriali IPR; mecanisme pentru schimbarea automată a sculelor și altor dispozitive). Ansamblul are o formă modulară putînd fi adaptat și de utilizator. Diversele mașini și mecanisme ale ansamblului robotizat sînt fabricate în serie. Sistemele de comandă numerică NS 6420, NS 880, NS 580 și sistemul automat programabil 905, fabricate de întreprinderea TESLA Kolin, asigură funcționarea optimă a regimurilor complet automatizate.

— **Sistem de intrare și ieșire grafică DIGIGRAF 1208—4G** — fabricat de Zavod Prúmyslové Automatizace Nový Bor, expozant: KOVO — Praga.

Sistemul, cu dessiner EC 7943—12, este un calculator periferic prevăzut pentru desenarea automată în industria mecanică, construcții, electrotehnică etc. Sistemul posedă o înaltă precizie (+0,01 mm) și o viteză mare de lucru. În conexiune cu un calculator acesta constituie o bază a sistemelor CAD pentru automatizarea lucrărilor de studiu. Ansamblul este comandat de un sistem cu microcalculator executînd un desen de calitate.

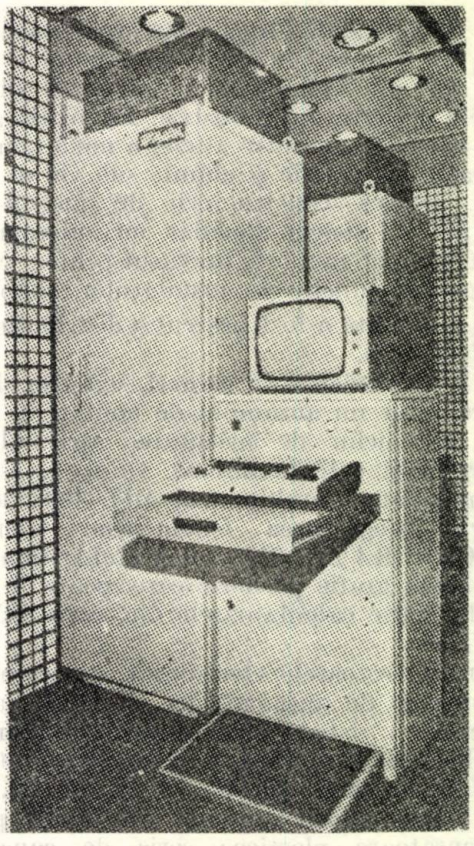


Fig. 3

— **Sistem modular de comandă și comunicații automate CKD MARK** — fabricant: CKD — Praga, expozant: Pragoinvest—Praga.

MARK (fig. 3) este un sistem de comandă, de concepție modulară, destinat automatizării procedeelor tehnologice și a instalațiilor complexe din laminării, stații de compresoare, cimenterii etc. Bazat pe microcalculatoare moderne el reprezintă un sistem de comunicații original prin variabilitatea rețelei sistemului de comandă și printr-o înaltă fiabilitate. MARK poate coopera cu toate calculatoarele din seria unitară SMEP II într-un vast sistem de comandă. Acest produs este rezultatul a 22 brevete de invenții.

— **Sistem de comandă continuă NS 739 S,** construit de Zavod Prúmyslove Automatizace Kosire. Expozant; STROJIMPORT Paga. Este un ansamblu destinat automatizării strungurilor de complexitate medie. Randamentul său mare, ca și adaptabilitatea sînt elemente pentru structura unui microprocesor de 16 bit.

Avantaje: posibilitatea utilizării metodelor moderne de programare, ușurință pentru operator, un bogat ansamblu de diagnosticare continuă, un vast echipament special. Sistemul NC 739 S este competitiv cu sistemele de comandă de pe piața mondială.

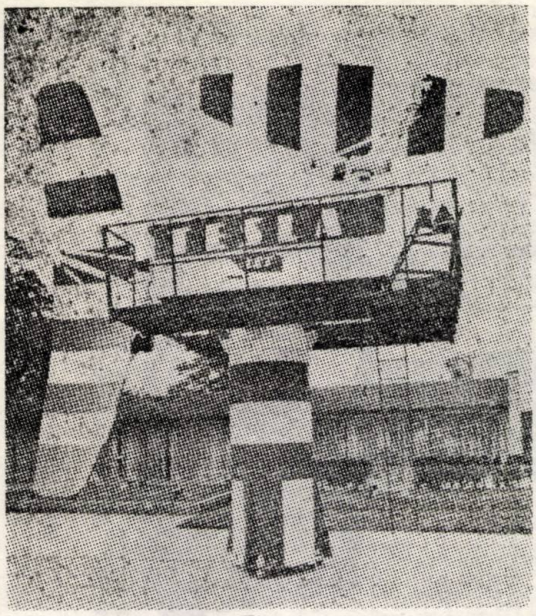


Fig. 4

— **Radar de apropiere de precizie RP—5G** (fig. 4), constructor : TESLA Pardubice ; expozant : Omnipol Praga. Acest radar este folosit la aterizarea tuturor tipurilor de avioane, în condiţii meteorologice defavorabile.

Tesla Pardubice, cu o tradiţie de un sfert de secol în construcţia de radare se numără printre marii constructori mondiali. Radarul RP-5 G este un aparat perfecţionat, incluzînd cele mai recente cunoştinţe în domeniul radarelor şi microprocesoarelor. O unitate de afişaj prezintă toate datele. Aterizările şi înregistrările lor în memoria unui calculator pot fi prezentate pe o unitate de afişaj.

— **Multimetru numeric programabil MIT 380,** constructor : Metra Blansko ; expozant : KOVO Praga.

Aparatul este realizat pentru măsurarea mărimilor electrice fundamentale, tensiunilor şi curentului continuu sau alternativ, rezistenţei. Datorită aplicării unor brevete de invenţii cehoslovace acest aparat este de mare precizie, distingîndu-se prin stabilitate în timp şi antiparazitaj fiind dotat cu circuite de autocalibrare. Se înscrie între produsele de vîrf realizate de întreprinderea Metra Blansko. Multimetrul conţine două microprocesoare (comandate de un traductor analog numeric) şi alte elemente de calcul statistic şi pentru operaţii aritmetice. Aparatul mai este dotat cu module de contact IMS—Z sau RS 232 pentru racordarea la sisteme automate de măsură.

GRETA ANDREI

O nouă gamă de performanţe cu aparate Robotron

Combinatul ROBOTRON este una din unităţile importante din R. D. Germană în domeniul microelectronicii. Produsele acestui combinat constituie o dovadă a fiabilităţii lor într-o multitudine de aplicaţii.

La Tîrgul de Primăvară de la Leipzig, care a avut loc în perioada 13—19 martie a.c., Combinatul ROBOTRON s-a prezentat cu o gamă largă şi interesantă de produse şi soluţii de utilizare.

În cele ce urmează se vor prezenta unele dintre acestea.

În domeniul electronicii de măsură şi control Combinatul ROBOTRON a expus a 3-a generaţie de aparate de testat circuite integrate, cu aplicaţie practică în toate întreprinderile fabricante de circuite integrate din R.D.G., fiind solicitate şi de fabricanţii străini pentru eficienţa lor deosebită.

Unul din aceste aparate este **testerul de circuit P 3040** (fig. 1). Cu ajutorul lui se pot determina într-un singur studiu, şi numai într-un minut toate anomaliile care se pot ivi în producţia de cartele imprimate complexe din tehnica numerică : componente defecte, scurtcircuite, diverse întreruperi etc., garantînd o producţie calitativă de 100% printr-o singură remediere a acestor anomalii. Aparatul este fabricat după cele mai noi tehnologii în microelectronică cu o înaltă calitate a logicielelor pentru utilizatorul care elaborează programe speciale. El se poate adapta şi altor echipamente prin interfeţele disponibile în operaţiile CAO/DAO.

Din această gamă de produse face parte şi *testerul de cablaje* P **300** (fig. 2), utilizat tot mai mult în rezolvarea recepţiei cartelelor imprimate neechipate, ca şi în controlul prealabil al cartelelor echipate.

Calculator personal ROBOTRON EC 1834 (fig. 3)

Acesta este unul din calculatoarele performante de 16 biţi fabricat de VEB Kombinat Robotron. El este compatibil cu sistemele de calculatoare realizate în informatica mondială.

Sistemul Robotron EC 1834 cuprinde întreaga unitate centrală împreună cu microprocesorul de 16 biţi.

Memoria de lucru are : o capacitate de 640 k octeţi, (este posibilă şi folosirea unui procesor aritmetic); două pînă la patru mecanisme

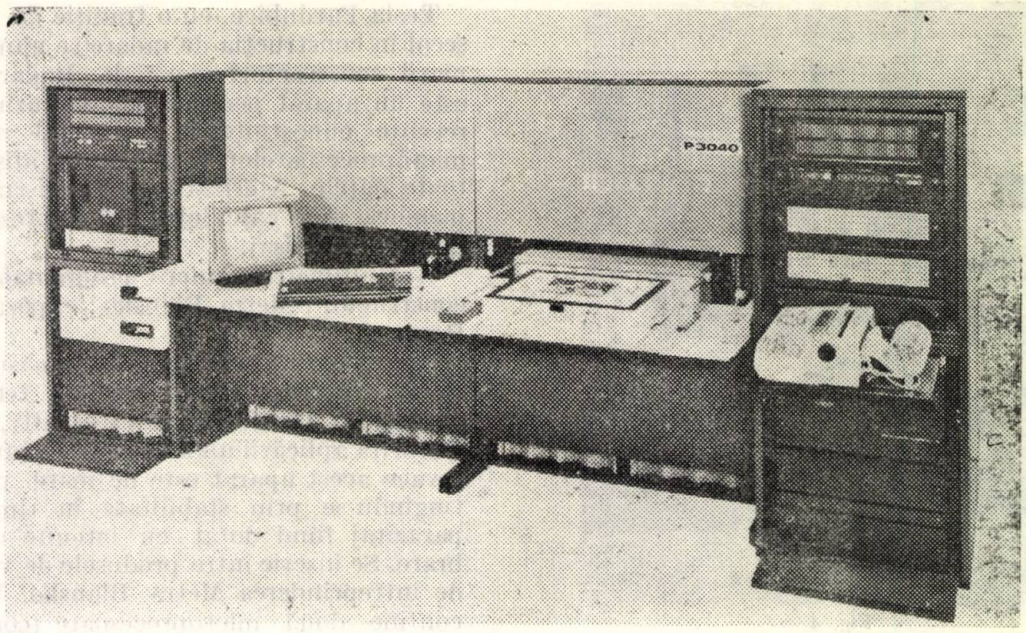


Fig. 1

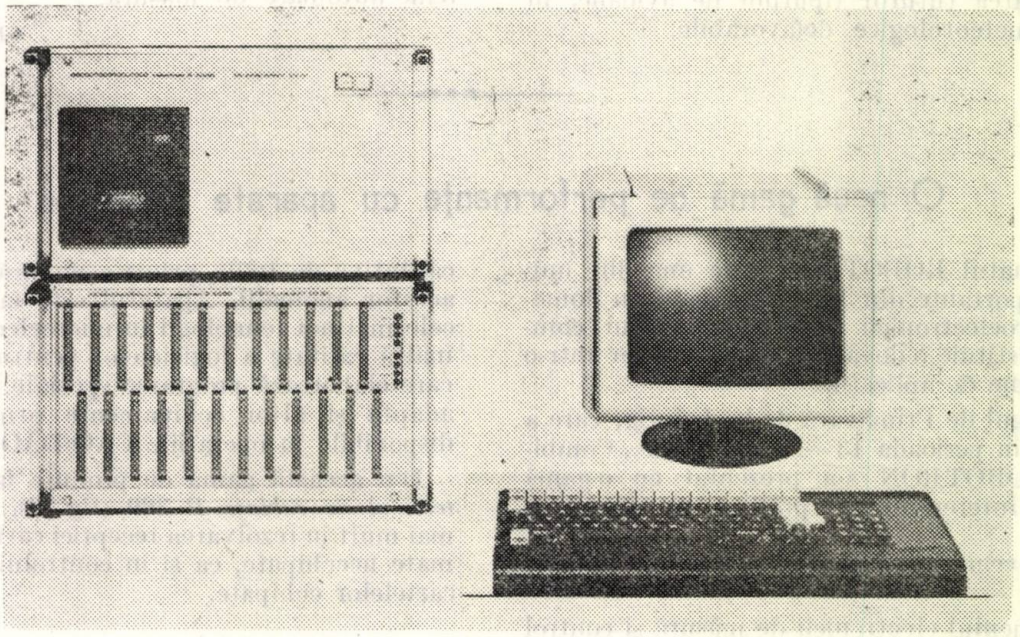


Fig. 2

floppy-disc de 720 kocteţi fiecare, sau o memorie pe disc fix de 5.25" cu capacitatea de 40 kocteţi.

Se pot conecta un ecran monocrom (alfanumeric sau/şi grafic) sau un ecran color-grafic.

Calculatorul dispune de un lot de 252 caractere care sînt şanjabile. Totodată există condiţii de branşare a altor aparate periferice Robotron, ca şi a imprimanţelor, meselor de trasare, plăcilor grafice, aparatelor cu digitizor.

Software-urile oferite pentru calculatorul personal Robotron EC 1834 cuprind :

— sistem de exploatare DCP (comparabil MS DOS 3.2);

— limbaje de programare superioare : BASIC, TURBO—PASCAL, C, FORTRAN 77, MODULA 2;

— sfotware standard;

— sistem de prelucrare a textelor;

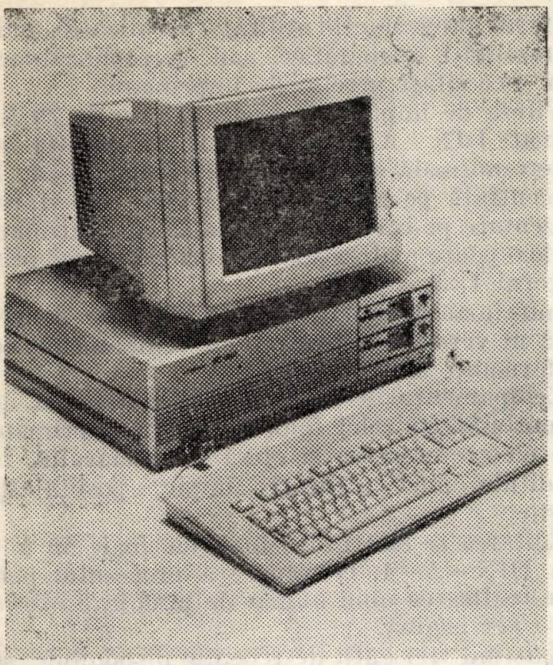


Fig. 3

— sistem de bancă de date (pentru descrierea, memorizarea, manevrarea și exploatarea stocurilor de date medii);

— program de calcul tabelat (realizînd funcțiile logice, matematice, financiare, calendaristice și speciale; funcții de bănci de date, ca și triere, înserări și ștergeri);

— grafică de operare (sistem-program independent pentru reprezentarea valorilor numerice în mod barat, circular sau xy);

— sistem de cercetare de informații: descriere de date informaționale documentare și factografice, control de date asistate prin ecran, stocaj inversat pe suporturi externe, modificare de date și cercetări asistate prin dialog, prelucrări comandate prin parametrii realizați de calculator pe ecran.

Performanțele ridicate și domeniul vast de software ale calculatorului personal Robotron EC 1834 permit o multidudine de aplicații:

— raționalizarea lucrărilor de birou;

— prelucrări de texte;

— gestionarea stocurilor;

— activitate științifică și tehnică.

Superminicalculatorul de 32 bit K 1840

Conceput pentru punerea în funcțiune a sistemelor cu utilizări multiple de putere acest calculator cu memoria virtuală RVS K 1840 servește la utilizări flexibile cu configurație variabilă posedînd rapiditate și fiabilitate. Adaptarea unor componente eficiente permite celor mai diverse domenii industriale o fabricație integrată prin calculator (FIO). Randamentele superioare de raționalizare sînt obținute fără asistarea de calculator a lucrărilor de studiu și construcție (DAO), a comenzilor de producți (FAO), a preliminărilor gestionării, calității, ca și a planificării muncii (PTAO).

Printre caracteristicile sistemului RVK K 1840 se pot cita:

— un randament de peste un milion de operații pe secundă;

— o memorie principală efectivă cu o capacitate de 2 la 76 megaocteți;

— un spațiu de adrese virtual care atinge 4 gigaocteți;

— o memorie externă extensibilă pînă la 3 gigaocteți avînd o rapiditate de trasmisie a datelor care atinge 2 megaocteți pe secundă;

— un sistem de intrare și de ieșire performant care se poate cupla la diverse aparate periferice, în special cu reprezentare grafică: mese de trasare, numerizoare și terminale cu ecran grafic.

Acest sistem răspunde celor mai exigente pretenții. El posedă comandă microprogramată, peste 300 comenzi de intrare eficiente și performante, multiple tipuri de adresare și de informare necesare. Baza sistemului este grefată pe un bus intern sincron care asigură, la 13 megaocteți pe secundă (pentru un ciclu de 200 ns), un schimb rapid de informații. Subsistemul cu pupitru, al cărui component principal este microcalculatorul K 1620, reprezintă elementul de acces al operatorului în sistem. El oferă posibilități excelente de diagnostic și o mare flexibilitate la utilizator.

Unitatea centrală de prelucrare cuprinzînd o unitate aritmetică, o unitate de adresare și de opțiune de calcul în virgulă flotantă supraveghează sistemul de bus multiplu, comandă permanent memoria cu microprogram, utilizarea componentelor, memoriei specifice și organismului de calcul.

Sistemul de intare și de ieșire constă din două subsisteme: subsistemul SKRBUS și subsistemul bus — memorie de masă, putîndu-se branșa la următoarele tipuri de controlere:

— controler pentru branșarea unui număr de pînă la patru derulatoare de bandă;

— controler pentru branșarea sistemului calculator la o rețea locală de calculatoare ROLANNET (viteză de transmitere 10 Mbit/s);

— controler pentru asigurarea conexiunilor de intercomunicație cu modeme terminale, alte aparate intrare/ieșire ca și imprimante în paralel, mese de trasare, digitizoare. Acest controler posedă mai multe interfețe seriale (asincrone/sincrone, semi-duplex/bidirecțional și o interfață paralelă.

Se pot utiliza sisteme de exploatare pentru software: sistemul principal de exploatare SVP 1800 orientat în timp real și sistemul interactiv în timp divizat MUTOS 1800 (compatibil UNIX). Fiecare sistem de exploatare asigură comanda băncilor de date corespunzătoare.

Pentru exploatarea rețelelor locale și globale există subprograme care permit utilizarea calculatoarelor personale de 8 și 16 biți, conectate pe RVS K 1840.

Minicalculatorul poate utiliza limbaje de programare superioare ca FORTRAN, C și MODULA—3.

Sistemele grafice de bază sînt constituite din sitemul grafic central (funcționînd după standard GKS ISO 7942) și un sistem modular geometric Componentele pot fi utilizate prin subprograme FORTRAN 77 și funcționează în SVR-

Imprimate laser Robotron EC 7230

Imprimantă de ieșire pentru unitățile de calcul ESER, imprimanta laser Robotron EC 7230 funcționează pe baza principiului xerografie prin laser și reprezintă, prin performanțele sale, mai mult decît o simplă alternativă pentru numeroșii beneficiari ai imprimantelor cu percursiune.

Imprimantă fără percusiune, EC 7230 funcționează cu hîrtie normală. Noul principiu activ al producerii contrastului permite o îmbunătățire radicală a calității imprimării și a altor parametri esențiali : ansamblul semnelor disponibile, variabilitatea, precum și realizarea unor proprietăți noi și importante pentru utilizator.

Devin astfel posibile : selecționarea sau modificarea complexului de caractere disponibile cu ajutorul programului utilizator, realizarea unor reprezentări semigrafice sau corespunzătoare unor necesități precise de imprimare.

Viteza de imprimare eficientă este de 20 foi format DIN—A—4 pe minut. Paginația în scriere normală și în caractere speciale poate fi concentrată pe aceeași pagină DIN—A—4, reprezentare pe care o imprimantă tip electromecanic o poate realiza doar pe o coală mărită prin factorul 1, 5.

Imprimanta Robotron EC 7230 este concepută în versiuni adcvate unor echipamente cu performanțe diverse.

Echipamentul de bază posedă o tehnică de sistem analogă celei folosite pentru imprimantele electromecanice și oferă beneficiarului, în condițiile unei utilizări simple, posibilități lărgite.

Editarea se efectuează foaie cu foaie în format DIN—A—4. O reluare a procesului permite realizarea unui număr de pînă la 8 exemplare per pagină.

Existînd trei cutii de recepție disponibile, se poate realiza o triere completă a unei ediții de trei exemplare per pagină.

Concepția imprimantei răspunde celor mai ridicate exigențe și asigură un acces corespunzător la toate modulele și componentele acestora, precum și o întreținere ușoară.

G. Andrei

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ȘI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) București. Articolele propuse spre publicare și cererile de abonamente se vor trimite la redacția revistei, București, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 și 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poștal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, București, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unități industriale și instituții, ca și pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export — import presă — București — Calea Griviței nr. 64—66, P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea Poligrafică „Informația“
București, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2244

E 2040/1

04

ETE

1989 MAR 14

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 36 • NR. 6 • SEPTEMBRIE 1988

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 36 • NR. 9 • SEPTEMBRIE 1988

ELECTROTEHNICA, AUTOMATICA ŞI ELECTRONICA

Anul 36 Nr. 6 septembrie 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.3.016.4:621.316.92/93
ENERGIE
SURSE DE ENERGIE
Tănăsescu, Fl. T. ş.a.: **Tendinţe mondiale în domeniul surselor de energie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 195
Se prezintă situaţia actuală şi perspectivele în domeniul aplicării energiei solare, termice, fotovoltaice şi eoliene.

CZ 621.316.92/93
SURSE DE ENERGIE
Tănăsescu, Fl. T.: **Preocupări actuale în Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică privind utilizarea surselor noi de energie.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 198
Materialul redă preocupările existente în ICPE privind utilizarea surselor noi de energie.

CZ 621.372:620.90
CELULE SOLARE CU SILICIU
SERIGRAFIE
Teodoreanu, D. ş.a.: **Utilizarea serigrafiei la realizarea celulelor solare cu siliciu.**
E.E.A — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 202
Se prezintă, comparativ, aspecte generale ale realizării celulelor solare prin tehnologii convenţionale şi prin tehnologia straturillor groase depuse serigrafic, precum şi avantajele utilizării serigrafiei la realizarea celulelor solare cu siliciu.

CZ 621.47:621.397.3
ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
ACHIZIŢIE ŞI TRANSMITERE DE DATE
Lauci, E. ş.a.: **Sistem fotovoltaic pentru culegere şi transmitere de date.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 207
Se prezintă principiile de bază ale proiectării şi implementării sistemelor fotovoltaice pentru culegerea şi transmiterea de date, ca şi descrierea principalelor blocuri componente.

CZ 621.47:001.13—681.33
ENERGIE SOLARĂ
SISTEME FOTOVOLTAICE
PROIECTARE ASISTATĂ DE CALCULATOR
Olariu, N., Popescu, O.: **Pachet de programe pentru proiectarea asistată de calculator a sistemelor solare.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 212
Se prezintă caracteristicile principale ale pachetului de programe SPVPAK destinat optimizării energetice a sistemelor fotovoltaice, precum şi analizei şi simulării funcţionării acestora.

CZ 621.47:621.314.2:621.3.027
ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
MAXIMIZATOR DE PUTERE
Gherăsoiu, I., Olariu, N.: **Creşterea eficienţei sistemelor fotovoltaice prin transfer maxim de putere.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 218
Sînt expuse principiile de bază ale transferului maxim de putere în cadrul sistemelor fotovoltaice şi rezultatele experimentale obţinute prin implementarea unui maximizator de putere unidirecţional. Se prezintă totodată, modalităţile de extindere a soluţiei adaptate la sisteme bidirecţionale.

CZ 621.3.047:620.91
ENERGIE
CAPTATOARE SOLARE
SURSE NOI DE ENERGIE
Toma, E., Chebeleu, P.: **Utilizarea metodei energetice la dimensionarea cîmpurilor de captatoare solare.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 224
În articol se prezintă rezultatele calculului energetic care permite determinarea temperaturilor de lucru ale unei instalaţii funcţionînd cu captatoare solare cu concentratoare. Pe această bază se poate efectua dimensionarea optimă a unui cîmp format din şiruri de captatoare, ceea ce constituie o componentă de calcul a schemei generale servind la proiectarea asistată de calculator a centralelor solare.

CZ 621.565:621.314
FRIGOTEHNICĂ
SURSE DE ENERGIE
Barbu, H., Cristea, R., Bucur, A.: **Gheţărie-frigorifer care utilizează energii neconvenţionale. Reconsiderarea unor probleme de tehnologie şi utilizare a frigului.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 227
Se expune o nouă tehnică de producere şi utilizare a frigului pentru răcirea şi conservarea unor produse la temperaturi cuprinse între 10° C şi —20° C, cu utilizarea energiei solare şi a vîntului. Sînt menţionate principalele deficienţe ale tehnologiilor utilizate pînă în prezent (clasice, cu surse de acţionare solară sau eoliană). Se prezintă pe scurt noua tehnologie, utilajele şi soluţiile constructive specifice ei, domenii de aplicare, perspectivele fructificării prin aplicaţii industriale.

CZ 621.313.12:621.3.016
ENERGIE EOLIANĂ
GENERATOR ELECTRIC
Olaru, Gh.: **Agregat pentru uz general cu generator electric de 1 kW, acţionat de vînt.**
E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 231
Este vorba de un agregat cu turbină de vînt şi generator electric cu putere nominală de 1 kW, la viteza vîntului de 7 km/s.

CZ 621.316.05:620.91
ENERGIE
ENERGIE EOLIANĂ
Radu, A.: **Turbina de vînt EV-04 — proiectare şi experimentări.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** nr. 6, sep 1988, p. 235

Lucrarea prezintă turbina eoliană EV-04, echipat cu rotor bipal cu ax orizontal, generator de c.c., cu regulator de execuţie cu stocare în baterie.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI; dr. ing. I. BĂTRÎNA; dr. ing. V. BUNEA; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU; ing. V. CEOCEONICĂ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU; prof. dr. ing. M. HĂNGĂNUŢ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN; ing. I. ILIESCU; ing. V. LEFTER; dr. ing. A. MILLEA; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE; ing. A. POPA; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică: GRETA ANDREI

INHALT

DK 621.3.016.4:621.316.92/93

ENERGIE
ENERGIEQUELLEN

Tănăsescu, Fl. T. u.a.: **Weltweite Tendenzen auf dem Gebiet der Energiequellen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 195

Es werden die weltweite Situation und die Perspektiven der Anwendung der solaren, thermischen, photovoltaischen und Windenenergie vorgestellt.

DK 621.316.92/93

ENERGIEQUELLEN

Tănăsescu, Fl. T.: **Gegenwärtige Bemühungen im Forschungsinstitut für Elektrotechnik bezüglich der Verwendung neuer Energiequellen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 198

Der Beitrag stellt die gegenwärtigen Bemühungen bei ICPE zur Verwendung neuer Energiequellen vor.

DK 621.372:620.90

SILIZIUMSOLARZELLEN
SERIGRAPHIE

Teodoreanu, D. u.a.: **Die Verwendung der Serigraphie zur Herstellung von Siliziumsolarzellen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 202

Es werden, vergleichsweise, die allgemeinen Aspekte der Herstellung von Solarzellen durch konventionelle Technologien und durch die Technologie der serigraphisch abgelagerten Schichten sowie die Vorteile der Verwendung der Serigraphie zur Herstellung der Siliziumsolarzellen, vorgestellt.

DK 621.47:621.397.3

SONNENENERGIE
PHOTOVOLTAISCHE UMWANDLUNG
DATENSAMMLUNG UND -ÜBERTRAGUNG

Lauci, E. u.a.: **Photovoltaisches System zur Datensammlung und -übertragung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 207

Es werden die Prinzipien zum Entwurf und Implementierung der photovoltaischen Systeme zur Datensammlung und -übertragung vorgestellt sowie ihre Hauptbestandteile beschrieben.

DK 621.47:001.13—681.33

SONNENENERGIE
PHOTOVOLTAISCHE SYSTEME
RECHNERGESTÜTZTER ENTWURF

Olariu, N., Popescu, O.: **Programmpaket zum rechnergestützten Entwurf der solaren Energiesysteme.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 212

Es werden die Hauptcharakteristiken des SPVPAK-Programmpakets zur energetischen Optimierung der photovoltaischen Systeme sowie der Analyse und Simulation ihres Betriebs vorgestellt.

DK 621.47:621.314.2:621.3.027

SONNENENERGIE
PHOTOVOLTAISCHE UMWANDLUNG
LEISTUNGSMAXIMIERER

Gherăsoiu, I., Olariu, N.: **Die Steigerung der Effektivität photovoltaischer Systeme durch maximale Leistungsübertragung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 218

Es werden die Grundprinzipien der maximalen Leistungsübertragung im Rahmen der photovoltaischen Systeme, sowie die durch die Implementierung eines Leistungsmaximierers mit einer Richtung erhaltenen experimentellen Ergebnisse vorgestellt. Es werden auch die Erweiterungsmöglichkeiten dieser Lösung zur Anpassung auf Systeme in beiden Richtungen aufgezeigt.

DK 621.3.047:620.91

ENERGIE
SONNENKOLLEKTOREN
NEUE ENERGIEQUELLEN

Toma, E., Chebeleu, P.: **Anwendung der energetischen Methode zur Dimensionierung eines Feldes von Sonnenkollektoren.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 224

Im Beitrag werden die Ergebnisse der energetischen Berechnung, die die Bestimmung der Arbeitstemperatur einer mit Sonnenkollektoren mit Konzentratoren betriebenen Anlage erlaubt, vorgestellt, Auf dieser Grundlage kann die optimale Dimensionierung eines aus Kollektoren bestehenden Feldes durchgeführt werden, das einen Berechnungsbestandteil des allgemeinen Schemas darstellt, die dem rechnergestützten Entwurf von Sonnenkraftwerken dient.

DK 621.565:621.314

KÄLTETECHNIK
ENERGIEQUELLEN

Barbu, H., Cristea, R., Bucur, A.: **Eiskeller-Kälteerzeugungsmaschine unter Verwendung nichtkonventioneller Energien. Neuwertung einiger Probleme der Kältetechnologie und -verwendung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 227

Es wird eine neue Technik zur Kälteerzeugung und -verwendung zur Kaltstellung und Konservierung von Erzeugnissen in einem Temperaturbereich von 10° C bis —20° C, unter Verwendung der Sonnen- und Windenergie vorgestellt. Es werden die Hauptmängel der bis jetzt verwendeten Technologien (klassische, mit Sonne oder Wind betriebene Quellen) aufgezählt. Die neue Technologie, ihre spezifischen Ausrüstungen und konstruktiven Lösungen, das Forschungsstadium, die Anwendungsgebiete und die Perspektiven Ihrer Auswertung durch industrielle Anwendungen werden kurz dargestellt.

DK 621.313.12:621.3.016

WINDENERGIE
ELEKTRISCHER GENERATOR

Olaru, Gh.: **Aggregat für allgemeine Anwendungen mit einem Wind angetriebenem 1 kW — elektrischen Generator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept. 1988, S. 231

Es wird ein Aggregat mit Windturbine und elektriechem Generator mit einer Nennleistung von 1 kW, bei einer Windgeschwindigket von 7 km/s vorgestellt.

DK 621.316.05:620.91

ENERGIE
WINDENERGIE

Radu, A.: **Die EV-04 — Windturbine — Entwurf und Experimentierung.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 6, Sept 1988, S. 235

Der Beitrag stellt eine EV-04 — Windturbine, ausgerüstet mit einem zweiblättrigem Rotor und horizontaler Achse, Gleichstromgenerator, mit Regler und Speicherbatterie vor.

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.3.016.4:621.316.92/93

ЭНЕРГИЯ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Тэнэсеску, Фл. Т. и др.: **Мировые тенденции в области источников энергии.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988 г., стр.

Представлены современное положение и перспективы в области применения солнечной, термической, фотовольтной и ветряной энергий.

УДК 621.316.92/93

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Тэнэсеску, Фл. Т.: **Современные области деятельности в Научно-Исследовательском Институте по Электротехнике относительно применения новых источников энергии.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988 г., стр. 19

Материал содержит области деятельности ИКПЭ относительно применения новых источников энергии

УДК 621.372:620.90

СОЛНЕЧНЫЕ КРЕМНИЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
СЕРИГРАФИЯ

Теодряну, Д. и др.: **Применение сериграфии в осуществлении солнечных кремниевых элементов.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36 №** 6, сент. 1988 г., стр. 202

Представлены, сравнительно, общие аспекты осуществления солнечных элементов традиционными технологиями и технологией толстых слоев, нанесенных сериграфическим способом, а также преимущества применения сериграфии в осуществлении солнечных кремниевых элементов.

УЦК 621.47:621.3973

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ
ФОТОВОЛЬТНАЯ КОНВЕРСИЯ
НАКОПЛЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ

Лаучи, Е. и др.: **Фотовольтная система накопления и передачи данных.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36,** нр. 6, сент. 1988 г., стр. 207

Представлены основные принципы проектирования и внесения фотовольтных систем в накоплении и передаче данных, а также описание основных составных блоков.

УДК 621.47:001.13—681.33

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ
ФОТОВОЛЬТНЫЕ СИСТЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ

Оларию, Н., Попеску, О.: **Пакет программ для проектирования при помощи ЭВМ солнечных систем.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988 г., стр. 212

Представлены основные характеристики пакета программ SPVPAK, предназначенного для энергетической оптимизации фотовольтных систем, а также для оценки и симмулирования их работы.

УДК 621.47:621.314.:621.3.027

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ
ФОТОВОЛЬТНАЯ КОНВЕРСИЯ
МАКСИМИЗАТОР МОЩНОСТИ

Герэсою, И., Оларию, Н.: **Увеличение эффективности фотовольтных систем при помощи максимального перехода мощности.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988 г., стр. 218

Изложены основные принципы максимального перехода мощности в рамках фотовольтных систем и опытные результаты, получаемые внесением однонаправленным максимизатором мощности. Одновременно, представлены способы расширения применяемого решения на двухнаправленные системы.

УДК 621.3.047:620.91

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ
НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Тома, Э., Кебелеу, П.: **Применение энергетического метода в измерении полей солнечных коллекторов.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988 г., стр. 224

В работе представлены результаты энергетического расчёта, позволяющего определить рабочие температуры одной установки, работающей при помощи солнечных коллекторов с концентраторами. На этой основе можно провести оптимальное измерение одного поля, состоящего из цепей коллекторов, то, что означает расчётный компонент общей схемы, служащий для проектирования при помощи ЭВМ солнечных станций.

УДК 21.565:621.314

ХОЛОДИЛНАЯ ТЕХНИКА
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Барбу, Х., Кристя, Р., Буку, А.: **Холодильно-льдохранилище, использующее нетрадиционные энергии. Пересмотр некоторых вопросов технологии и применения холода.**

Е.Е.А.—**Electrotehnica 36, №** 6, сент. 1988, стр. 227

Представлена новая техника производства и использования холода для охлаждения и консервации разных изделий при температурах от 10°С и — 20°С, с применением солнечной и ветряной энергий. Упомянуты основные недостатки технологий, используемых до сих пор (классических, с приводными источниками солнечными или ветряными). Представлена коротко новая технология, присущие ей оборудования и конструкторские решения, стадия исследования, области применения, перспективы использования при помощи промышленных применений.

УДК 621.313.12:621.3.016

ВЕТРЯНАЯ ЭНЕРГИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

Олару, Г.: **Агрегат общего употребления с электрическим генератором I КВт., приводимым ветром.**

Е.Е.А.— **Electrotehnica 36,** № 6, сент. 1988 г., стр. 231

Речь идёт об агрегате с ветряной турбиной и электрическим генератором с номинальной мощностью I КВт., при скорости ветра 7 Км/сек.

УДК 621.316.05:620.91

ЭНЕРГИЯ
ВЕТРЯНАЯ ЭНЕРГИЯ

Раду, А.: **Ветряная турбина EV-04—проектирование и эксперименты.**

Е.Е.А.— **Electrotehnica 36,** № 6, сент. 1988, стр. 235

Работа представляет ветряную турбину Е-04, оснащенную двухкрыльчатым ротором с горизонтальной осью, генератором постоянного тока и регулятором исполнения с накоплением в батарее.

CONTENTS

DC 621.3.016.4:621.316.92/93

ENERGY
ENERGY SOURCES

Tănăsescu, Fl. T. and o.: **World trends in the field of energy sources.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 195

The actual state and future trends in the field of solar, thermal, photovoltaic and wind energy application are presented.

DC 621.316.92/93

ENERGY SOURCES

Tănăsescu, Fl. T.: **Current preocupations of the Research Institute for Electrotechnical Engineering regarding the application of new energy sources.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 198

The material presents current ICPE — Institute for Electrotechnical Engineering-regarding the application o new energy sources.

DC 621.372:620.90

SILICON SOLAR CELLS
SERIGRAPHY

Teodoreanu, D. and o.: **The application of serigraphy to the manufacturing of silicon solar cells.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 202

A comparate presentation is made about the general aspects of solar cells manufacturing through conventional technologies and by means of the serigraphically deposited thick-layer technology as well as of the advantages of using serigraphy in silicon solar cell manufacturing.

DC 621.47:621.397.3

SOLAR ENERGY
PHOTOVOLTAIC CONVERSION
DATA ACQUISITION AND TRANSMISSION

Lauci, E. and o.: **Data acquisition and transmission photovoltaic system.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 207

The basic principles of the design and manufacturing of data acquisition and transmission photovoltaic systems are presented together with a description of the main component bloks.

DC 621.47:001.13—681.33

SOLAR ENERGY
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
COMPUTER AIDED DESIGN

Olariu, N., Popescu, O.: **Program package for the computer-aided design of solar systems.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 212

The main features of the SPVPAK programme package for the energetic optimization of photovoltaic systems are presented, as well as those of its analysis and operation simulation.

DC 621.47:621.314.2:621.3.027

SOLAR ENERGY
PHOTOVOLTAIC CONVERSION
POWER MAXIMIZER

Gherăsoiu, I., Olariu, N.: **The efficiency increase of photovoltaic systems through maximum power transfer.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 218

The basic principles of the maximum power transfer within photovoltaic systems are presented together with the experimental results obtained through the implementation of one power maximizer. At the same time extension possibilities to two way systems for the solution adopted are presented.

DC 621.3.047:620.91

SOLAR COLLECTORS
NEW ENERGY SOURCES

Toma, E., Chebeleu, P.: **Application of the energetic method to the sizing of solar collector fields.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 224

The paper presents the results of the energy computation that enables the determination of the operating temperatures of a concentrator solar collector equipment. On this basis, the optimum sizing of a field consisting of collector rows can be carried out. This constitutes a computational component of the general diagram for the computer-aided design of solar power stations.

DC 621.565:621.314

REFRIGERATION
ENERGY SOURCES

Barbu, H., Cristea, R., Bucu, A.: **ıce cellar-refrigerater using non-conventional energies. Reconsideration of certain problems regarding refrigerating technology and application.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 227

The paper presents a new cold generation and application technique for the cold storage of certain products at temperatures between 10° C and −20° C that uses solar and wind energy. The main defficiencies of the currently used technologies (classical, with solar or wind driving) are presented. The new technology is briefly presented with its specific equipment and constructive solutions, research state, application fields, employment future trends through industrial applications.

DC 621.313.12:621.3.016

WIND ENERGY
ELECTRIC GENERATOR

Olaru, Gh.: **General-purpose equipment with a 1 kW wind-driven electric generator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 231

The paper presents a wind turbine and electric generator equipment with a rated value of 1 kW for a wind speed of 7 km/s.

DC 621.316.05:620.91

ENERGY
WIND ENERGY

Radu, A.: **The EV-04 wind turbine design and experimentation.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 6, sept 1988, p. 235

The paper presents the EV-04 wind turbine, which is equiped with a twin-blade, horizontal axis, rotor dipole type, D.C. generator and battery-storage operation controller.

SOMMAIRE

CD 621.3.016.4:621.316.92/93

ÉNERGIE
SOURCES D'ÉNERGIE

Tănăsescu, Fl. T. et al.: **Tendances mondiales dans le domaine des sources d'énergie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 195

On présente la situation actuelle et les perspectives dans le domaine de l'application de l'énergie solaire, thermique, photovoltaïque et éolienne.

CD 621.316.92/93

SOURCES D'ÉNERGIE

Tănăsescu, Fl. T.: **Préoccupations actuelles à l'Institut de Recherche Scientifique et Ingénierie Technologique pour l'Electrotechnique en ce qui concerne l'utilisation des sources d'énergie nouvelles.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 198

L'ouvrage présente les préoccupations existentes à ICPE qui concernent l'utilisation des sources d'énergie nouvelles.

CD 621.372:620.90

CELLULES SOLAIRES AU SILICIUM
SERIGRAPHIE

Teodoreanu, D. et al.: **L'utilisation de la sérigraphie dans la réalisation des cellules solaires au silicium.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 202

On présente, de manière comparative, les aspects généraux de la réalisation des cellules solaires par l'intermèdiaire des technologies conventionnelles et à l'aide de la technologie des couches épaisses déposées par la sérigraphie, ainsi que les avantages de l'utilisation de la sérigraphie dans la réalisation des cellules solaire au silicium.

CD 621.47:621.397.3

ÉNERGIE SOLAIRE
CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE
ACQUISITION ET TRANSMISSION DES DONNEES

Lauci, E. et al.: **Système photovoltaïque pour l'acquisition et la transmission des données.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 207

On présente les principes de base de la conception et de l'implémentation des systèmes photovoltaïques pour l'acquisition et la transmission des données, ainsi que la description des blocs composants principaux.

CD 621.47:001.13—681.33

ENERGIE SOLAIRE
SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES
CONCEPTION ASSISTÉE PAR L'ORDINATEUR

Olariu, N., Popescu, O.: **Paquet de programmes pour la conception assistée par l'ordinateur des systèmes solaires.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 212

On présente les caractéristiques principales du pacquet de programmes SPVPAK destiné à l'optimisation énergétique des systèmes photovoltaiques, ainsi que de l'analyse et de la simulation de leur fonctionnement.

CD 621.47:621.314.2:621.3.027

ÉNERGIE SOLAIRE
CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE
DISPOSITIF POUR LE TRANSFER MAXIMAL DE PUISSANCE

Gherăsoiu, I., Olariu, N.: **La croissance de l'efficience des systèmes photovoltaïques par le transfer maximal de puissance.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 218

On expose les principes de base du transfer maximal de puissance dans le cadre des systèmes photovoltaiques et les résultats expérimentaux obtenus par l'implémentation d'un dispositif unidirectionnel pour le transfer maximal de puissance. On présente en même temps les modalités d'extension de la solution adaptées pour les systèmes bidirectionnels.

CD 621.3.047:620.91

ÉNERGIE
CAPTEUR SOLAIRES
SOURCES D'ÉNERGIE NOUVELLES

Toma, E., Chebeleu, P.: **L'utilisation de la méthode énergétique pour le dimensionnement des champs de capteurs solaires.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 224

Dans cet ouvrage on présente les résultats du calcul
gétique qui permet la détermination des températur

fonctionnement d'une installation qui comprend des capteurs solaires à concentrateurs. Sur cette base on peut réaliser le dimensionnement optimal d'un champ formé par des rangées de capteurs, ce qui constitue une composante de calcul du schéma général servant à la conception assistée par l'ordinateur des centrales solaires.

CD 621.565:621.314

TECHNIQUE DU FROID
SOURCES D'ÉNERGIE

Barbu, H., Cristea, R., Bucu, A.: **Glacière-frigorifique qui utilise des énergies non-conventionnelles. La reprise en considération de quelques problèmes liés à la technologie et à l'utilisation du froid.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept 1988, p. 227

On présente une nouvelle technique pour la production et l'utilisation du froid pour le refroidissement et la conservation des produits à des températures situées entre 10° C et —20° C, avec l'utilisation de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne. On cite les déficiences principales des technologies utilisées jusqu'à présent (les technologies classiques, employant des sources d'entraînement solaire ou éolien). On présente brièvement la nouvelle technologie, les outillages et les solutions constructives spécifiques, l'état présent des travaux de recherche, les domaines d'application, les perspectives de fructification par des applications industrielles.

CD 621.313.12:621.3.016

ÉNERGIE EOLIENNE
GENERATEUR ÉLECTRIQUE

Olaru, Gh.: **Agrégat d'usage général à générateur électrique de 1 kW, entraîné par le vent.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept. 1988, p. 231

On présente un agrégat à turbine éolienne et à générateur électrique ayant une puissance nominale de 1 kW, pour une vitesse du vent de 7 km/s.

CD 621.316.05:620.91

ENERGIE
ENERGIE EOLIENNE

Radu, A.: **Turbine éolienne EV-04 — conception et expérimentations.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** No. 6, sept. 1988, p. 235

L'ouvrage présente la turbine éolienne EV-04, équipée avec un rotor bipolaire à axe horizontale, générateur à courant continu, avec un régulateur d'exécution à stockage en batterie.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 6

CZ 621.3.016.4:621.92/93

ENERGIE
SURSE DE ENERGIE

Tendinţe pe plan mondial privind utilizarea energiei solare fotovoltaice şi a energiei vîntului

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, CRISTIAN ION POPESCU, EMILIAN PETRE ZAIDES * — BUCUREŞTI

1. Energia solară fotovoltaică

Conversia directă a energiei solare în energie electrică se află deja într-un stadiu tehnologic foarte avansat, dar perspectiva de dezvoltare este practic la fel de mare ca şi în urmă cu un deceniu.

Randamentul teoretic (40%) nu este încă nici pe departe atins, iar avantajele majore ale transformării directe ale energiei solare în energie electrică (modulară, simplă, nepoluantă, sigură în exploatare şi fără întreţinere) fac ca tehnologia fotovoltaică să fie unul din domeniile cu dinamică mare în prezent, pe plan mondial.

Stadiul şi tendinţele mondiale ce se desprind pot fi caracterizate, pe scurt, prin următoarele :

— siliciul cristalin domină tehnologia fotovoltaică şi îşi va păstra această poziţie şi în următorii cinci ani ;

— piaţa aplicaţiilor a crescut, atît prin diversificare, cît şi prin număr ; se realizează curent instalaţii fotovoltaice ce furnizează energie pentru telecomunicaţii, agricultură şi transporturi, şcoli şi spitale, locuinţe izolate ;

— costul acestor aplicaţii este încă crescut, datorită preţului ridicat al celulelor în special, dar tendinţa de scădere a acestuia este evidentă ;

— chiar la actualele costuri sistemele fotovoltaice ce beneficiază de anumite condiţii particulare sînt mai favorabile economic decît grupurile electrogene ;

— tehnologia straturilor subţiri va fi „şocul viitorului" pentru conversia fotovoltaică.

Cîteva cifre ilustrează această evoluţie [1].

— Producţia modulelor fotovoltaice a atins, în 1987, 29,1 MW, din care 12 MW numai în Japonia ; se prognozează 300 MW în 1990, 4 500 MW în 2 000 şi 115 000 MW în 2 010.

— Primul modul fotovoltaic comercial, bazat pe siliciu amorf, a fost realizat în 1980 ; în Japonia s-au produs 9 MW de astfel de module în 1987.

— Piaţa pentru calculatoare de buzunar cu celule fotovoltaice a trecut de 100 mil. buc în 1987 ; deşi primul calculator de acest fel a apărut în 1980, ele acoperă acum 10% din producţia fotovoltaică. Piaţa aplicaţiilor auto (pe acoperişul automobilului), nulă astăzi, va ajunge la 50 MW/an în anul 2 000.

— Soluţiile pentru extinderea pieţii (randament mai mare al celulelor şi costuri mai reduse) sînt în progres continuu. Modulele cu siliciu monocristalin au atins 4,75 $/W, iar în decembrie 1987 un producător a anunţat celule cu straturi subţiri cu randament de conversie 22,4% (cel mai mare randament atins cu celulele convenţionale este 23,7%).

— Efortul de cercetare atinge cifre impresionante : 85 mil. mărci în RFG (1987) [2] şi 40 mil. dolari în SUA (1987) [3].

În luna mai 1988 a avut loc a 8-a Conferinţă Europeană de Energie Solară Fotovoltaică (Florenţa, Italia) care a pus în evidenţă ultimele tendinţe şi perspective ale conversiei fotovoltaice solare [4].

Astfel, în privinţa noilor materiale şi a strategiilor de urmat, s-a remarcat că nu s-au explorat toate posibilităţile. De exemplu, nu s-au identificat încă semiconductorii cu constante de absorbţie cît mai mari, care să conducă la celule solare ultrasubţiri, ieftine în producţie de serie, cu consumuri minime de materiale şi mult mai versatile la manevrare (flexibile, uşoare etc.). Pirita (FeS_2) pare un material solar interesant cu coeficientul său de absorbţie mare (6.10^5 cm^{-1}), stabilitatea şi eficienţa cuantică 80—90%. Studiul acestui material abundent va reprezenta un punct de cotitură şi, de ase-

* Dr. ing. Tănăsescu Fl. T., dr. ing. Popescu C. I., ing. Zaides, E. P. — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE).

menea, o strategie de îmbunătățire a proprietăților de material și de dispozitiv prin controlul „in situ" al proprietăților electronice în timpul procesului de producție.

Celulele cu straturi subțiri de siliciu policristalin pe substrat ieftin combină stabilitatea și performanțele siliciului cristalin cu costuri reduse asociate straturilor subțiri. S-au obținut deja randamente de 12,4% și, teoretic, se poate atinge 17%, pe suport ceramic.

O atenție deosebită se acordă procedeelor metalurgice de obținere a siliciului ieftin de grad solar.

Celulele solare cu concentrare, bazate pe siliciu au progresat rapid. S-au atins randamente de 25% și chiar de 29%, în anumite cazuri.

Cele mai importante probleme de soluționat se referă în special la echipamentele anexe, ce asigură funcționarea sistemului; costurile lor trebuie reduse de 2... 3 ori. În orice caz se admite că se vor atinge rapid randamente de peste 30% și costuri sub 0,30 $/Watt la concentrări ridicate.

Performanțele, fiabilitatea și costul modulelor solare cu siliciu amorf ocupă un loc important în activitatea de cercetare aplicativă. S-au realizat module cu arie de peste 1 000 cm^2 și randamente de peste 6%. Se apreciază că se vor atinge costuri de 1,15 $/W la o producție de 10 MW/an (cu randamente de 6%).

Semiconductorii compuși policristalini au condus la cele mai ridicate randamente ale celulelor solare cu straturi subțiri. În plus, materialele nu prezintă degradări în timp. Se realizează celule cu randamente de peste 10% cu mai multe materiale, în diferite tehnologii. Randamente de 12% și 13,7% au fost atinse de firma ARCO (SUA) pe o celulă tandem de siliciu amorf — $CuInSe_2$.

O mențiune specială este datorată sistemelor de stocare. Echipamentele fotovoltaice sînt utilizate fie conectate la rețea, fie în mod izolat. Necesitatea stocării energiei depinde de aplicația particulară, iar ingineria de sistem evită pe cît posibil echipamentele de stocare datorită costurilor lor ridicate.

Sînt diferite căi de stocare a energiei: mecanică, termică, electrică sau chimică, fiecare cu avantaje și dezavantaje. Tehnologia hidrogenului pare cea mai promițătoare cale de stocare energetică pentru viitor.

În concluzie, tehnologia fotovoltaică actuală poate fi comparată cu televiziunea în 1940, calculatoarele profesionale în 1950, circuitele integrate în 1960 și calculatoarele personale în 1970, ca una din tehnologiile cu o dezvoltare reală, spectaculoasă și de viitor. Multe dintre firmele cele mai mari din lume activează în domeniu: General Electric, Sharp, AEG, BP, Atlantic Richfield, Shell, Polaroid, Siemens, Boeing, Westinhouse, Matushita, Sanyo etc.

2. Energia vîntului

În ciuda potențialului energetic uriaș pe care îl reprezintă, energia vîntului nu a ajuns încă să marcheze cifre semnificative în balanța energetică a lumii, cu toate eforturile mari făcute în această direcție. Explicația acestei nereușite parțiale este una singură: din lanțul normal pe care ar fi trebuit să meargă dezvoltarea turbinelor de vînt a lipsit veriga fundamentală — și anume „cercetarea", în ciuda efortului financiar depus în multe țări ale lumii.

Pentru ilustrarea acestei afirmații ne vom referi la SUA care posedă în prezent cel mai mare parc de turbine de vînt din lume (circa 16 000 în 1987), însumînd o putere instalată de peste 1 400 MW și care au însemnat o investiție de aproximativ 2,5 miliarde $. Acest uriaș inventar a permis observarea și cercetarea în detaliu atît a comportării în teren a turbinelor de vînt, funcționînd individual, cît și a centralelor electrice însumînd zeci sau sute de instalații.

Datorită acestor înlesniri industria turbinelor de vînt s-a dezvoltat foarte mult, rezultatele obținute fiind notabile pentru o serie de instalații și cu totul deplorabile pentru multe din ele.

În ansamblu, centralele eoliene comerciale din SUA au realizat numai 50% din producția preconizată. Pierderile rezultate din neproducerea de energie în centralele de vînt americane se cifrează la 75÷85 milioane dolari anual.

Producția scăzută de energie a turbinelor de vînt s-a datorat următoarelor cauze:

— lipsa de cunoștințe tehnologice în domeniul mecanicii fluidelor, aerodinamicii și dinamicii structurale;

— eșecul în impunerea unei discipline de control în domeniul fabricației;

— date meteorologice insuficiente și tehnici de amplasare în teren defectuoase;

— o practică insuficientă în domeniul operării și întreținerii.

Cu toate acestea, experiența cîștigată în cei șapte ani de exploatare a fermelor de turbine de vînt din SUA a reprezentat un real cîștig pentru proiectanți, constructori și utilizatori, demonstrînd că se pot realiza și mașini ieftine, fiabile, competitive cu orice altă formă de energie.

Deși mașinile importate, avînd puterea mai mică de 100 kW, au funcționat bine cîțiva ani, au început să prezinte probleme privind rezistența la oboseală, iar multe din turbinele mai mari de 100 kW au început să aibă probleme imediat după instalare. S-a constatat că multe din componentele turbinelor se uzează mult înainte de termen, devenind inoperabile în mai puțin de 20÷30 ani cît era durata de viață estimată.

În cele de față s-au făcut referiri numai la turbinele de vînt cu ax orizontal, destinate producerii de energie electrică și aceasta din două motive :

— turbinele de vînt cu ax vertical au înregistrat practic numai eșecuri în ultimii ani ;

— pentru balanța energetică a unei țări contează numai turbinele mari.

Astfel, puterea generatoarelor crește de la 100 kW spre 500 kW (nu este vorba de modele demonstrative sau prototipuri, ci de turbine comerciale).

Costurile instalațiilor sînt în scădere ; dacă pentru o turbină de vînt, utilizatorul plătește azi la fabrică circa 800÷900 $/kW, iar costul kilowattului instalat este de circa 1 000÷1 200 $, în perioada 1990—1995 se estimează că pentru o turbină, la fabrică, prețul energiei furnizate de o turbină de vînt funcționînd în centrale eoliene mari va fi de aproximativ 0,035÷0,080 $/kWh.

Finanțarea de către particulari a proiectelor de implementare este treptat înlocuită cu finanțarea de către instituții.

Industria se consolidează, noi firme redutabile pătrunzînd pe piață. Este de remarcat că, deși aceste firme intră tîrziu în competiție, argumentele lor sînt extrem de serioase, au deja în urmă un lung program de cercetare și experimentare în condiții de laborator și reale ale produselor ce le propun spre comercializare.

Se impune tot mai mult folosirea soluției mixte generator diesel — turbină de vînt alimentarea unor locuri izolate, fără rețea electrică sau care au deja montate grupuri diesel electrice. Nu toți specialiștii sînt partizanii acestei soluții, dar cîteva aplicații recente vin să susțină acest gen de instalații.

Profilele folosite pentru palele actuale și selecționate, după performanțe, din profilele folosite în industria aeronautică nu sînt proprii turbinelor de vînt.

Cercetări recente desfășurate în SUA au dus la concluzia că pentru aceste aplicații trebuie realizate noi profile capabile să facă față solicitărilor particulare pe care le au rotoarele turbinelor de vînt ; s-au realizat modele experimentale care au la bază pala dintr-o serie de profile care diferă de la butucul palei spre vîrful acesteia, pentru că și solicitările care apar în aceste regiuni sînt diferite.

Obiectivele pe termen lung vizînd viitorul îndepărtat sînt :

— creșterea productivității turbinelor de vînt, concomitent cu reducerea costului acestora ;

— în decada 1990—2000 puterea generatoarelor electrice instalate va crește.

Pentru realizarea acestor deziderate vor trebui dezvoltate tehnologii corespunzătoare privind :

● *Dinamica atmosferei :* va trebui cunoscută perfect, în ideea estimării producției de energie a unui viitor amplasament, depistarea unor microamplasamente și pentru determinarea sarcinilor de încărcare a rotorului.

● *Aerodinamica :* preocupare deosebită pentru mărirea eficienței și fiabilității rotoarelor și pentru a putea modela încărcarea și repartiția eforturilor pe un rotor dat.

● *Controlul funcționării :* cu scopul de a mări productivitatea și de a scădea pe cît posibil eforturile la care sînt supuse instalațiile ; este posibil să se impună realizarea unor generatoare funcționînd la viteză variabilă sau realizarea unor dispozitive menite să reducă încărcarea instalațiilor și care să permită livrarea unei energii electrice de calitate în rețea.

În concluzie, se poate spune că, deși sub aspectul cercetării acest deceniu de activitate industrială în domeniul turbinelor de vînt nu a adus rezultate remarcabile, uriașul volum de investiții și muncă depus a ajutat în mod substanțial la descifrarea multor probleme. Programe de cercetare complexe ar fi dus poate la rezultate mai bune probabil în aceeași unitate de timp ; totuși, acum apele au început să se limpezească și progresul în domeniu va fi și mai vizibil odată cu intrarea în competiție a unor mari firme avînd un potențial de cercetare și execuție foarte mare.

Este, de asemenea, de remarcat că în toată această perioadă nu au apărut probleme care să nu poată fi rezolvate cu mijloacele existente. Și rămîne ca o certitudine faptul că tot mai multe țări văd în exploatarea energiei vîntului o posibilitate de a degreva economia națională de cîteva procente din totalul consumului intern.

Bibliografie

[1] * * * Photovoltaic Insider's Report, R. Curry ed., 1987, Dallas, SUA.

[2] * * * BMFT Journal, nr. 5, dec. 1986, p. 5, RFG.

[3] US Department of Energy, Congressional Budget Request, 1987, Washington, SUA.

[4] 8th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 9—13 mai 1988, Italia.

CZ 621.316.92/93

SURSE DE ENERGIE

Preocupări actuale în ICPE privind utilizarea surselor de energie solară și eoliană

FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, CRISTIAN POPESCU, MIHAI RÂPEANU, EMILIAN ZAIDES, NICOLAE OLARIU, HORIA BARBU, EUGENIU TOMA *

Prin „Programul directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și a orientărilor generale pînă în anul 2000", program coordonat de CNST, s-au obținut numeroase realizări importante în domeniul surselor neconvenționale de energie, concretizate printr-un mare număr de echipamente și tehnologii introduse în economia națională.

În cadrul acestui program ICPE are responsabilitatea subprogramului de electrotehnică privind sursele neconvenționale de energie.

1. Domeniul solar termic

În continuarea realizărilor înregistrate în anii trecuți (Electrotehnica nr. 7/8, 1985 p. 316), cercetările recente în direcția perfecționării captatoarelor solare s-au concentrat asupra creșterii performanței prin îmbunătățirea materialelor și montajelor utilizate. Astfel, pentru captatorul tip CSCF—1—2,5 de 2,5 m² s-a experimentat folia de plastic aluminizată ca suprafață reflectantă și s-a introdus, experimental, tubul protector de sticlă pentru țeava-focar. Estimările pentru un cîmp de captare de 3 200 m² cu 29 rînduri a 44 captatoare de acest tip se cifrează la o producție de 120 tone c.c. pe sezonul activ la București, în cazul unui debit de apă de 450 kg/oră și utilizînd apă cu temperatura de intrare de 45°C și cea de ieșire de 85°C.

În anii 1986—1987 s-a exploatat în scop experimental instalația solară de la poligonul experimental Agigea, bazată pe 300 module CSCF-1. Cu același tip de captatoare a început în anul 1988 montarea unui cîmp de 1 200 m² pentru furnizarea de apă caldă cu diverse utilizări la I.A.S. Belciugatele și a unui cîmp de 1 400 m² în scopuri similare la I.A.S. Medgidia. O aplicație distinctă o constituie distilatorul DS-1 omologat, cu patru captatoare, avînd un debit de apă distilată de 0,5—2,3 kg/oră.

Cercetările care au condus la realizarea captatorului cu dublă concentrare CSC-2—6, cu un modul avînd suprafața de 6 m², au dat posibilitatea efectuării probelor funcționale, în vederea omologării acestui tip de captator dotat cu un dispozitiv de urmărire automată a Soarelui. Caracteristicile acestui captator permit atingerea de temperaturi ridicate ale apei (raport de concentrare $C = 20$, coeficient mediu de randament optic $\eta_0 = 0{,}57$, coeficient de pierderi termice — prin radiație — $k = 3\text{W/m}^2\text{K}$).

Estimările dau pentru o centrală mare, formată din 22 rînduri a 24 de module, o producție de 175 tone c.c. pe sezonul activ la București, în cazul unui debit de 500 kg/oră și utilizînd apă cu temperatura de intrare 85°C și cea de ieșire 150°C. Pe baza acestui tip de captator a început în 1988 montarea la poligonul experimental Agigea a 144 module și la I.S. „30 Decembrie" a 36 module din cîmpul prevăzut a avea în final 1 000 m².

Cercetările în domeniul producerii de energie termică cu ajutorul captatoarelor solare vizează, în primul rînd, îmbunătățirea parametrilor de funcționare prin introducerea de materiale mai eficiente (acoperiri optic — selective) mai ieftine (folii metalizate, de ex.). Pe plan general, se vor optimiza modalitățile de amplasare prin estimarea mai exactă a potențialului energetic solar. Se vor studia, de asemenea, tipuri de captatoare neconvenționale, cu poziționare fixă sau periodică.

În domeniul desalinizării cercetările au fost conduse separat pentru instalația de desalinizare și pentru sursa neconvențională de acționare, urmînd ca, în final, ele să fie experimentate ca ansamblu la poligonul ICPE Agigea, în cadrul unui colectiv mixt ICPE, IPB și ISPCAIA.

Au fost efectuate cercetări teoretice privind diferite tipuri de tehnologii de desalinizare (prin înghețare pe suprafețe metalice, diferite variante cu cristalohidrați, prin termocompresie, cu agentul frigorific în contact direct cu apa de mare și cu separare de faze solid-lichid-vapori etc.). De asemenea, au fost executate cercetări teoretice și experimentale privind diferite faze de tehhnologie de desalinizare și de frig, precum și privind materialele impuse de apa de mare și de climatul marin.

Ca urmare, a fost realizat și experimentat un model de laborator de desalinizare prin procedeul de înghețare pe suprafețe metalice cu capacitate de circa 100 kg apă/zi. Pe baza

* Dr. ing. *Tănăsescu, Fl. T.*, dr. ing. *Popescu, C.*, ing. *Râpeanu, M.*, ing. *Zaides, E.*, ing. *Olariu, N.*, ing. *Barbu, H.*, dr. fiz. *Toma, E.* — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) — București.

experimentelor efectuate cu modelul de laborator a fost definitivată problematica cercetării acestui tip de tehnologie de desalinizare și au fost elaborate temele de proiectare pentru o instalație-pilot cu capacitatea de 2 t/zi,care trebuie să fie montată și experimentată la poligonul ICPE Agigea.

În ceea ce privește producerea frigului cu energie solară sau eoliană la Poligonul ICPE Agigea, a fost construită (conform unui proiect întocmit în colaborare de ISPCAIA București și ISPE București) o instalație pentru produs gheață prin procedeul „absorbție amoniac în 2 trepte", utilizînd ca sursă de acționare apă caldă (85/78°C), produsă într-un cîmp de captatoare solare cu dublă concentrare. Instalația, prevăzută să producă circa 1 500 kg gheață în 24 ore de funcționare, a fost probată în 1986. Ea urmează să fie cuplată la sursa neconvențională după testarea și omologarea acesteia.

Totodată, au fost efectuate cercetări teoretice pentru un generator de gheață în tuburi, acționat cu energie electrică produsă eolian și (sau) fotovoltaic. A fost executat și testat un model de laborator de putere sub 1,5 kWe, utilizînd ca agent frigorific F 12. Un model experimental, în curs de execuție, va fi testat la poligonul Agigea cuplat cu cîmpurile de eoliene în curs de montaj.

În domeniul pompelor de căldură acționate cu energii neconvenționale, după studii teoretice și de optimizare termodinamică, este în curs de elaborare proiectul unei pompe de căldură de tipul I.F.A.R. 1 (cu absorbție-resorbție amoniac), care produce simultan frig (agent intermediar 11/4°C) și căldură (apă caldă 20/65°C), utilizînd apă caldă produsă în captatoare solare cu simplă concentrare. Avantajul acestei instalații constă în recircularea apei prin captatoarele solare la temperaturi de circa 40°C, care permit atingerea unui randament mărit de conversie a energiei solare.

Pentru alt tip de pompă de căldură, cu compresie de gaze utilizînd o sursă mixtă vînt-soare, denumită P.D.C.A. 1 au fost terminate studiile teoretice și au fost elaborate proiectele de tehnologie și de utilaje. Această instalație încălzește un agent termic lichid, de la 20°C la peste 100°C și simultan (vara) poate produce frig la — 15°C.

2. Domeniul solar fotovoltaic

Modulul solar fotovoltaic este destinat utilizării sale ca sursă de energie electrică autonomă furnizînd curent continuu. Modulele solare se pot cupla între ele în serie, sau în paralel, formînd astfel panouri solare, care pot fi utilizate ca surse de energie în aplicații de diferite tipuri și, în același timp, asigură protecția mecanică și climatică a celulelor solare. În ICPE s-au realizat cîteva tipuri de module în diferite variante tehnologice și pentru diferite aplicații. Fluxul tehnologic de realizare a modulelor solare cuprinde următoarele etape: sortarea și categorisirea celulelor solare, aplicarea terminalelor pe celulă și interconectarea electrică a celulelor solare, încapsularea ansamblului de celule solare și etanșarea și înrămarea modulului solar.

În ceea ce privește încapsularea celulelor solare s-au experimentat și realizat următoarele structuri:

a) sticlă (2 mm grosime) — rășină siliconică — celule — rășină siliconică-sticlă (2 mm);
b) sticlă (2 mm) — polivinilbutiral (PVB) — celule — PVB — sticlă (2 mm);
c) sticlă (3—4 mm) PVB — celule — PVB — folie de fibră de sticlă — PVB — folie de aluminiu și plastic;
d) sticlă — PVB — celule — fibră de sticlă folie — PVB — tablă de aluminiu anodizată.

Structurile c, d prezintă, față de a, b, avantajul unei rezistențe superioare la agenți fizici de mediu (grindină, zăpadă, vînt), obținută prin securizarea sticlei și, de asemenea, o greutate mai mică corespunzătoare la aceeași putere electrică debitată.

Structurile b, c, d prezintă față de structura a, avantajul unui cost redus la manoperă datorat automatizării procesului.

În ceea ce privește etanșarea și înrămarea modulului s-au experimentat următoarele structuri:

a) mastic auto, profil „U" aluminiu;
b) chit tiocolic, garnitură cauciuc EPDM, chit tiocolic, profil „U" aluminiu;
c) folie plastic aluminizat autoadezivă, garnitură cauciuc, profil aluminiu:
d) epoxi armat cu fibră de sticlă-folie, garnitură cauciuc, chit tiocolic, ramă aluminiu;
e) lac electroizolant, chit tiocolic, profil polipropilenă.

În privința etanșării pe marginea modulului, dintre materialele utilizate, varianta c s-a dovedit a fi cea mai eficientă barieră față de agenții fizici și chimici de mediu.

În privința ramei, profilul de aluminiu prezintă cea mai bună rigiditate mecanică, dar are dezavantajul față de profilele din polipropilenă că sînt mai grele, necesită suplimentar o anodizare pentru a rezista în condiții de climă grele, precum și garnitură de cauciuc suplimentară.

S-au realizat mai multe tipuri de module în funcție de diferitele cerințe ale unei aplicații concrete și anume:

— module mici cu puterea nominală de pînă la 1 W în variantele de încapsulare a, b și d, de înrămare a, b și e și cu dimensiuni potrivite pentru fiecare aplicație în parte;

— module mari în domeniul a 5—12 W s-au realizat în variantele de încapsulare c și d și de înrămare b și e.

În plus, pentru aplicații la care se folosesc mai mult de 20 de module mari, acestea au fost înrămate în profile de aluminiu și polipropilenă de tip „E" sau „F" și au fost prevăzute cu cutie de borne pentru terminale, pentru a simplifica modul de interconectare a modulelor.

De asemenea, pentru aplicații utilizînd două sau mai multe module și/sau în sistem cu baterie-tampon, modulele au fost prevăzute cu diode de protecție.

Pînă în prezent s-au realizat module solare cu siliciu cu o putere electrică echivalentă de 5 kW, reprezentînd aproximativ 1 000 module.

Conform cu testele mecano-climatice, trecute de modulele ICPE, s-a estimat durata lor de viață (timpul după care puterea furnizată scade cu 10% din valoarea inițială) la 15 ani, în următoarele condiții de mediu :

— temperatura aerului — 40 + 50°C ;
— viteza maximă a vîntului 200 km/h ;
— umiditatea relativă a aerului pînă la 100%.

În domeniul aplicațiilor fotovoltaice s-a trecut de la instalațiile cu caracter demonstrativ (casă solară fotovoltaică, instalații de pompaj demonstrative, surse pentru alimentarea televizoarelor și aparatelor de radio etc.) la aplicații comerciale, cerute de diverși beneficiari.

Dintre acestea se pot enumera :

● Ceas public fotovoltaic, cu generator cu puterea de vîrf de 20 W la 12 V sau 24 V și baterie de 45 Ah care asigură o funcționare independentă, pe tot timpul anului, cu o precizie de 1 s la 10 zile. Primele astfel de ceasuri s-au instalat în București și Timișoara.

● Instalație de iluminat cu sursă de energie fotovoltaică, intrată în fabricație la ELBA Timișoara, cu următoarele caracteristici principale : puterea de vîrf a generatorului : 40 W la 12 V ; puterea lămpii : 20 W ; capacitatea bateriei 70 Ah. Performanțele instalației, în condiții de consum redus, sînt asigurate de un invertor de înaltă frecvență și de un releu fotovoltaic ce asigură funcționarea automată în raport cu iluminarea ambiantă. Amplasamente : București, Agigea.

● Echipamente de protecție catodică activă cu sursă fotovoltaică destinată funcționării în condiții de autonomie energetică a construcțiilor metalice îngropate sau imersate în apă de mare. Echipamentul conceput în structură modulară este alcătuit din generator fotovoltaic de 60—80 W, baterie-tampon de 90—165 Ah, potențiostat 1—10A cu tensiune de ieșire variabilă pentru a se asigura o eficiență maximă de protecție, indiferent de caracteristicile mediului. Amplasament : Ploiești, cu protecția unei conducte de gazolină.

● Echipamente pentru stații hidro-meteorologice pentru alimentarea stațiilor radio și iluminatul de serviciu pe timp de noapte. Caracteristici : putere de vîrf 100 W, capacitatea bateriei 75 Ah — 165 Ah, regulator pentru încărcare baterie. Amplasamente : Stația Meteorologică Titu, OGA-Alexandria. Similar acestor echipamente este și sursa fotovoltaică pentru alimentarea stației radioreleu cu puterea de 100 W, amplasată la Direcția Poștelor Focșani.

● Echipamente fotovoltaice pentru sistem autonom de achiziție și transmitere a datelor, ce urmează a fi amplasat în cadrul OGA — Tulcea.

● Unitate de pompare a apei de 1,5 kW cu pompă volumetrică cu adîncimea de pompare de pînă la 150 m, aflată în funcțiune la IAS-Berești județul Galați.

De asemenea, este în curs de realizare și experimentare a sursă fotovoltaică mobilă de 750 W, amplasată pe o remorcă ce poate fi tractată de un autoturism de teren. Noul echipament este utilizat în aplicații speciale, precum și pentru asigurarea energiei electrice în puncte izolate de lucru, cu caracter temporar.

În paralel cu implementarea acestor aplicații s-au efectuat cercetări în vederea dezvoltării echipamentelor din cadrul sistemelor fotovoltaice : regulator încărcare/descărcare baterie, maximizatoare de putere, adaptoare de sarcină etc.

De asemenea, s-a elaborat un pachet de programe pentru proiectarea asistată de calculator a sistemelor fotovoltaice în vederea optimizării structurii lanțului de conversie, în funcție de particularitățile climatice ale zonei de amplasare și specificul consumatorului.

În domeniul solar fotovoltaic se prevede în perspectivă :

— dezvoltarea aplicațiilor abordate : pînă în prezent în special în domeniul protecției catodice și a sistemelor automate de achiziție și transmitere de date ;

— dezvoltări de noi aplicații : surse pentru stații radioreleu, balizaj radio și luminos, supravegherea și monitorizarea proceselor izolate (petrol, agricultură, silvicultură, protecția mediului înconjurător, hidrologie, transporturi ș.a.), aplicații medicale etc. ;

— dezvoltarea echipamentelor de condiționare a puterii avînd în vedere calitatea, tipodimensiunile, funcțiile specializate, consumul ;

— dezvoltarea de echipamente pentru sisteme fotovoltaice de mare putere.

3. Domeniul energiei vîntului

Eforturile depuse de ICPE în domeniul turbinelor eoliene s-au concentrat în găsirea unor soluții cît mai eficiente din punct de vedere

tehnic și cu un preț de cost cît mai scăzut, avînd ca scop :

— realizarea unor turbine de vînt adoptînd soluții îndelung verificate — cazul turbinelor de vînt multipale cu ax orizontal ;

— realizarea unor turbine de vînt rapide cu ax orizontal destinate acționării generatoarelor electrice de mică putere, de c.c. prin cuplare directă rotor-generator electric.

Astfel, turbinele cu ax orizontal, multipale CVM 1,5 și CVM 3, proiectate de I.P. Iași, după concepția ICPE, se găsesc în fabricație la I. Energia Constanța și au ca principale caracteristici următoarele :

	CVM 1,5	CVM 3
Diametrul rotorului, m	3,5	5,2
Numărul palelor	18	18
Puterea, kW	1,5	3
Sistem de orientare	cu derivă	
Sistem de protecție	prin eclipsare în plan lateral	
Turația maximă a axului vertical, rot/min	240 la 9 m/s	120 la 8 m/s.

Aceste turbine sînt destinate agriculturii, ele putînd acționa o pompă de apă, diferite unelte agricole sau un generator electric.

Din categoria generatoarelor electrice acționate direct de turbine de vînt se pot menționa două tipuri (EV 02 și EV 04), avînd aceeași structură de bază :

— generator electric de c.c., derivație de joasă turație provenit dintr-o mașină electrică aflată în fabricație de serie prin modificarea bobinajului ;

— rotor rapid bipal cu pala executată din lemn.

Caracteristicile principale ale celor două turbine sînt :

	EV 02	EV 04
Diametrul rotorului, m	1,8	1,5
Puterea electrică nominală, W	200 W la 10 m/s ;	400 W la 10 m/s
Tensiunea nominală, V	12 ; 24 ; 48 V.c.c. ;	24 V.c.c.

Aceste turbine sînt destinate aplicațiilor de mică putere situate în puncte izolate, care necesită curent continuu.

O altă instalație a fost gîndită tot pentru alimentarea cu energie electrică a punctelor izolate, dar are o putere electrică de 7 kW, ceea ce reprezintă practic limita pentru astfel de aplicații. Concepția acestei turbine de vînt aparține ICPE, proiectul de execuție a fost realizat de Institutul de Cercetări pentru Tehnologia Construcțiilor de Mașini, iar execuția modelului experimental are loc la Intreprinderea Județeană de Prestări Servicii și Producție către Populație — Slobozia.

Rotorul turbinei este tripal, cu ax orizontal, reglajul turației realizîndu-se prin modificarea geometriei palelor.

Generatorul electric este de tip alternator sincron. Schema de comandă și protecție este concepută și proiectată la ICPE.

Caracteristicile acestei turbine sînt următoarele :

Diametrul rotorului, m	7
Puterea nominală generator electric, kW	7 la 11 m/s
Raport de multiplicare a turației	$i = 8$
Masa totală a instalației, kg	1 500
Tensiunea nominală, V	24.

Stocarea energiei electrice se face în baterii de acumulatoare.

4. Experimentare și încercări

Rezultat ca urmare a aplicării sarcinilor trasate în „Programul-directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1991 și orientările generale pînă în anul 2000", poligonul de încercări pentru echipamente și tehnologii în domeniul surselor neconvenționale de energie a fost realizat de către Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) în zona Agigea, pe litoralul Mării Negre.

Situat la nivelul paralelei 44°, într-o zonă cu însorire de peste 2 060 ore/an și în același timp cu vînt depășind 7 m/s, de peste 2 875 ore/an, poligonul de încercări oferă condiții bune de testare pentru agregate și echipamente de conversie a energiei soarelui și a vîntului.

Conceput și dotat cu metode moderne de caracterizare, poligonul este conceput pentru încercări complexe de echipamente și tehnologii ale surselor neconvenționale de energie în condiții naturale și simulate. Aceste încercări sînt necesare atît pentru optimizarea echipamentelor și tehnologiilor actuale, cît și pentru verificarea noilor soluții de cercetare. El este, totodată, un amplasament destinat cursurilor și seminariilor pentru participanții interesați în dobîndirea cunoștințelor necesare realizării, utilizării și exploatării echipamentelor și instalațiilor de folosire a surselor neconvenționale de energie.

CZ 621.372:620.90

Utilizarea serigrafiei la realizarea celulelor solare cu siliciu

DAN TEODOREANU, MARIA TEODOREANU, MARIN GHEORGHE,
MICHAELA POPESCU, CARMEN RETEGAN * BUCUREŞTI

Introducere

Dintre celulele solare utilizate în aplicaţii terestre, cele cu siliciu ocupă un loc primordial. Aceasta datorită răspîndirii siliciului în compoziţia scoarţei terestre, unde ocupă locul doi, cît şi a stabilităţii sale la acţiunea agenţilor fizici şi chimici din mediul exterior. De asemenea, tehnologia de obţinere a celulelor solare cu siliciu este relativ simplă în comparaţie cu alte tipuri de semiconductoare cu proprietăţi adecvate conversiei energiei solare în energie electrică, cum ar fi GaAs, CdS, CdTe, InP, CuInSe.

Din punctul de vedere al utilizatorului surselor solare de energie, parametrul cel mai important al acestora este raportul dintre preţul lor şi puterea electrică furnizată. Din acest considerent, cercetările în domeniul conversiei fotovoltaice a energiei solare s-au axat pe două direcţii : creşterea randamentului celulelor solare, pe de o parte, şi descoperirea unor materiale şi tehnologii ieftine pentru realizarea celulelor solare, pe de altă parte.

Lucrarea de faţă îşi propune să evidenţieze, pe cît posibil, rezultatele obţinute în aceste direcţii de cercetare, punînd accent pe utilizarea tehnologiei serigrafice la obţinerea celulelor solare.

1. Celule solare cu siliciu. Variante tehnologice

Se vor folosi pentru exemplificare celulele solare obţinute din siliciu monocristalin de tip p. Structura unei astfel de celule este redată în figura 1.

Realizarea unei celule solare cu siliciu presupune, în principal, următoarele etape tehnologice :

1 — obţinerea plachetei de siliciu ;
2 — realizarea joncţiunilor n^+/p şi p/p^+ ;
3 — realizarea contactelor metalice pe faţa plachetei (n^+) şi pe spatele plachetei (p sau p^+) ;
4 — realizarea stratului antireflectant pe faţa celulei ;
5 — eliminarea scurtcircuitelor prin curăţirea pe margini a plachetelor.

Există numeroase variante de realizare a celulelor solare, astfel încît ordinea proceselor nu este neapărat cea enunţată mai sus, ea putînd fi modificată în funcţie de natura semiconductorului utilizat şi de tehnologia aleasă. Se vor prezenta în continuare cîteva variante pentru fiecare din etapele tehnologice de mai sus.

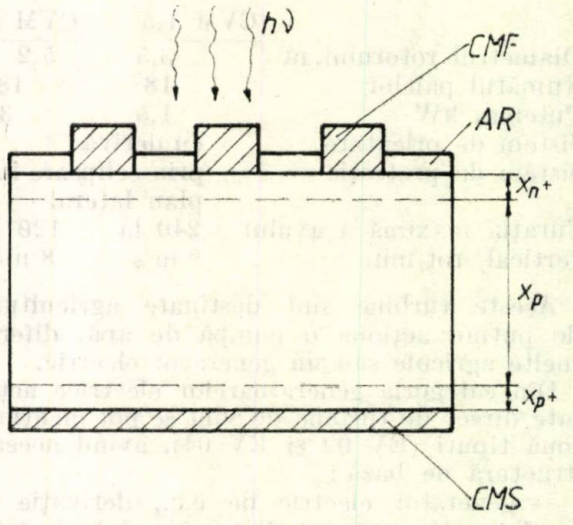


Fig. 1. Structura tipică de straturi pentru o celulă solară de tip n^+-p-p^+: CMF — contact metalic pe faţa celulei; AR — strat antireflectant; CMS — contact metalic pe spatele celulei; h — energia fotonilor incidenţi;
x_{n^+}, x_p, x_{p^+} } grosimea straturilor n^+, p, p^+, respectiv.

1. Plachetele pentru celule solare se obţin din lingouri cu rezistivitatea între 0,5—13 Ωcm, realizate, la rîndul lor, prin tragerea din topitură după o metodă de tip Czochralski. După tăiere şi rodare, plachetele sînt corodate mecano-chimic în soluţii de acizi sau baze. Pentru siliciul cu structura <100>, prin corodare cu soluţii bazice, se obţine o texturare a suprafeţei, care reduce reflexia pe faţa plachetei de la 40% la 10%. Celulele solare realizate astfel prezintă dezavantajul unei temperaturi de funcţionare ridicate, cu consecinţe în scăderea randamentului acestora.

Pentru siliciul cu structura ⟨111⟩ corodarea bazică nu prezintă efecte de texturare direcţionată, astfel încît se preferă o corodare mixtă, în mediu bazic şi apoi acid, pentru a reduce din costul ridicat al corodării acide (de aproximativ 10 ori mai scumpă decît cea bazică) şi a micşora riscurile ecologice. Este de menţionat faptul că natura suprafeţei plachetei este dictată de etapele tehnologice ulterioare : realizarea joncţiunilor şi a contactelor metalice

* Cercetători ştiinţifici la Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — ICPE — Bucureşti.

2. Joncțiunile n^+/p și p/p^+ se realizează prin difuzie de fosfor (stratul n^+) și bor sau aluminiu (stratul p^+). Difuzia de fosfor se poate face din fază de vapori, din fază solidă sau prin implantare ionică.

Pentru celule solare este necesară realizarea unei joncțiuni abrupte (cu o dopare puternică) și la o adîncime în domeniul 0,2 — 0,6 μm, pentru ca fotogenerarea purtătorilor de sarcină să se facă cu preponderență în zona p care, fiind mult mai slab dopată (10^{15} — 10^{17} cm^{-3}), prezintă un timp de viață al purtătorilor minoritari superior stratului n^+. Stratul p^+ de pe spatele plachetei are grosimea de ordinul micronului și are un rol dublu : atît de promovare a unui contact ohmic bun între siliciu și metal, cît și de reducere a recombinării purtătorilor minoritari pe spatele plachetei, ducînd, în acest fel, la o creștere a fotocurentului și a fototensiunii celulei solare. Pentru celulele groase ($x_p \gtrsim 3L$), de regulă, pentru aplicații terestre, efectul acestui strat se menține numai asupra fototensiunii.

3. Contactul metalic pe fața celulei se face sub forma unei grile a cărei suprafață nu trebuie să fie mai mare de 10% din aria celulei. La această valoare se ajunge în urma unui compromis între necesitatea micșorării suprafeței inactive (acoperite) a celulei și realizarea unei colectări cît mai eficiente a fotopurtătorilor în stratul n^+ (obținută cu o grilă cît mai deasă).

Contactele metalice pe siliciu n^+ se pot realiza prin depunere în vid înaintat (10^{-6} Torr) și/sau depunere chimică și electrochimică. Se cunosc următoarele tipuri de contacte : Ti-Ag depuse succesiv în vid, urmat de nichelare electrochimică sau cufundare în aliaj Sn-Pb topit ; Ti-Pd-Ag, urmat de aceleași tipuri de acoperiri, cu proprietăți de stabilitate termică superioare ; Ti-Pd-Cu depuse în vid, urmat de depunere electrochimică de Cu ; Ni depus chimic sau electrochimic.

Dintre acestea, contactele cu Ti pe siliciu prezintă cele mai bune performanțe (rezistența de contact mică, stabilitate sporită la factorii de mediu în condiții de exploatare pe termen lung — 20 ani). Contactul de Ni prezintă dezavantajul unei operații de fotogravură în plus.

Contactele metalice pe spatele plachetei se realizează cu : Ti-Ag-Ni sau Ti-Pd-Ag-Ni utilizînd aceeași tehnologie ca și pentru fața plachetei, dar cu o etapă tehnologică suplimentară — o dopare p^+ pe spatele plachetei pentru promovarea contactului ohmic.

Altă variantă este contactul metalic de aluminiu evaporat în vid înalt și sinterizat la temperatură de 500—800°C. Pentru temperaturi mai mari de 600°C se realizează un strat p^+ pe spatele planchetei, cu îmbunătățirea corespunzătoare a contactului. Interconectarea celulelor cu aliaj Sn-Pb necesită o depunere suplimentară de Ag, Ni sau Cu.

4. Reducerea reflexiei pe fața plachetei de siliciu se poate realiza prin texturarea suprafeței (pentru siliciu cu orientare ⟨100⟩) sau prin depunere de straturi subțiri de materiale transparente în domeniul spectral de absorbție al siliciului, straturi care prezintă un indice de refracție adecvat (1,5—2,4). Aceste straturi se pot realiza prin depunere în vid, prin spray sau prin centrifugare. Materialele utilizate sînt SiO_2, SiO, TiO_2, Ta_2O_5. Cu un singur strat antireflex se reduce reflexia de la 40% la 10% ; cu două straturi reflexia se reduce în medie la 3% ; cu trei sau mai multe straturi reducerea reflexiei este nesemnificativă față de dificultățile tehnologice de realizare a straturilor.

5. Ca urmare a etapei a doua se produc zone de scurtcircuitare a joncțiunii pe marginea plachetei. Aceasta duce la reducerea curentului și tensiunii debitate de celulă. Eliminarea acestor zone se face prin curățire mecanică, chimică sau chimică în plasmă. Se optează între aceste metode în funcție de cantitatea de celule ce trebuie procesate în unitatea de timp și de simplitatea metodei. Din acest punct de vedere, cea mai favorabilă metodă pare cea de curățire în plasmă, metodă care, deși este mai lentă decît cea chimică (cu lichide), permite prelucrarea mai multor celule simultan, așezate în formă de fișic, fără operații tehnologice suplimentare. De regulă, în toate cazurile prezentate se realizează o corodare suplimentară pentru straturile de SiO_2 în HF.

În figura 2 se prezintă o secvență tipică completă de realizare a celulei solare convenționale [1].

2. Celule solare obținute prin tehnologia straturilor groase

Serigrafia, ca tehnologie, oferă avantajul unui preț scăzut, prin economie de material și manoperă, datorită unor pierderi mici de materiale și a posibilității de automatizare [2]. Procesul serigrafic constă, în esență, în depunerea de paste cu compoziție chimică adecvată, printr-o sită metalică, urmată de tratament termic la temperaturi înalte (ardere). Dintre etapele tehnologice principale de realizare a unei celule solare, obținerea straturilor n^+, p^+, a contactelor metalice și a stratului antireflectant se pretează foarte bine la utilizarea metodei serigrafice [3].

Astfel, se poate utiliza serigrafia pentru realizarea straturilor n^+ și p^+ cu paste pe bază de P_2O_5 și B_2O_3. Pasta constă, în principal, din trei componente : materialul activ, solventul organic și o substanță cu proprietăți reologice. În cazul pastei de fosfor, componenta activă este P_2O_5 sub formă de pulbere ; solventul este, de regula, acetat de butilcarbitol ; substanța care conferă pastei proprietăți reolo-

gice adecvate imprimării serigrafice este aerosilul (particule de SiO_2 cu dimensiuni de ordinul 10—20 μm).

Plachetele serigrafiate cu această pastă sînt procesate termic în cuptor-tunel la 900—950°C în flux de azot, timp de 10—12 minute. Faţă

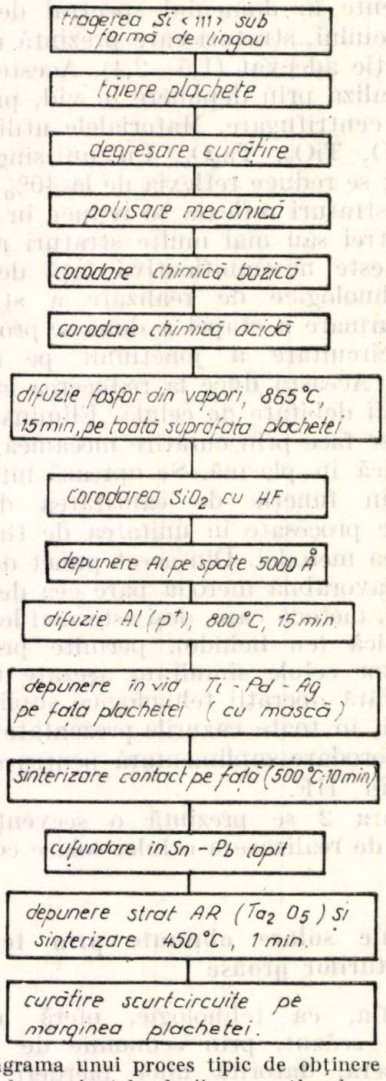


Fig. 2. Diagrama unui proces tipic de obţinere a celulelor solare prin tehnologii convenţionale.

de difuzia convenţională din fază de vapori, difuzia cu paste serigrafice prezintă avantajul unui proces ce poate fi automatizat, necesită condiţii mai puţin critice privind starea suprafeţei plachetelor, realizează o uniformitate mai bună a performanţelor celulelor şi, în anumite condiţii, se pot evita scurtcircuitele de pe marginea plachetei.

În privinţa etapei a treia, contactele metalice se realizează cu ajutorul unei paste ce conţine, în principal, patru elemente: pulberea activă a metalului de bază, de regulă cu dimensiuni de 5—10 μm; frita, respectiv un amestec de oxizi cu punct de topire inferior celui al metalului de bază, care promovează aderenţa de substrat; un liant organic şi solvenţi care pot modifica vîscozitatea pastei. Serigrafierea este urmată de o ardere în aer la temperaturi de 550—900°C, în cuptor-tunel.

Realizarea stratului antireflectant prin serigrafie prezintă dificultăţi tehnologice sporite faţă de etapele anterior prezentate. Se menţionează că, stratul antireflectant trebuie să aibă indicele de refracţie în domeniul 2—2,4 şi grosimea fizică de 600—800 Å pentru aplicaţii terestre. Astfel de straturi subţiri se pot obţine prin serigrafie prin folosirea unei paste cu vîscozitate foarte mică, precum şi a unor aditivi care să mărească coeziunea în interiorul pastei, pe de o parte şi aderenţa la substratul de siliciu, pe de altă parte.

3. Contacte metalice depuse prin serigrafie pentru celule solare

Avantajul serigrafiei, faţă de alte tehnici de realizare a celulelor solare, apare cel mai evident la realizarea contactelor metalice.

Neglijînd fenomenele de degradare drastică a eficienţei unei celule solare, care pot apare la aplicarea contactelor prin serigrafie, cum ar fi: iniţierea unor canale de scurtcircuitare a joncţiunii şi introducerea de defecte în zona joncţiunii, este important de studiat influenţa contactelor metalice asupra rezistenţei-serie a celulei solare.

Rezistenţa-serie este un parametru esenţial pentru celula solară, de mărimea ei depinzînd energia disipată prin efect Joule. Astfel, o rezistenţă serie de 2 Ωcm^2 reduce eficienţa unei celule cu aproximativ 10% faţă de cazul cu rezistenţă-serie nulă [4].

Rezistenţa-serie se compune din rezistenţa stratului metalic pe spate (R_M^s), rezistenţa de contact pe spate (R_c^s), rezistenţa stratului p^+, rezistenţa stratului p, rezistenţa stratului n^+(R_{n^+}), rezistenţa de contact pe faţa celulei (R_c^F), rezistenţa metalului pe faţa celulei (R_M^F).

În cazul în care concentraţia purtătorilor în stratul n^+ şi adîncimea joncţiunii (x_{n^+}) sînt mari, se poate stabili o rezistenţă-serie echivalentă a celulei solare, ca fiind suma rezistenţelor prezentate mai sus [5].

Calculul detaliat al fiecărei rezistenţe se face cel mai simplu pe o structură rectangulară ca cea din figura 3, pentru o celulă elementară cu dimensiunile a d. Considerînd $d \gg 2\ m$ şi $a \gg m$, se obţin următoarele relaţii:

$$R_c = \frac{r_c}{d \cdot a},$$

$$R_{n^+} = \frac{1}{3} a^2 \cdot r_{n^+},$$

$$R_m = \frac{1}{3} \cdot \frac{d^2 \cdot a}{M} \cdot r_m,$$

$$R_p = \rho \cdot \frac{x_p}{a \cdot d}.$$

Valorile r_c, r_{n+}, r_m, x_p se pot determina experimental prin metoda celor patru sonde sau utilizînd o geometrie convenabil aleasă în scopul limitării erorilor de măsură sub 5%. Valorile R_c, R_{n+}, R_m, R_p se pot calcula, putîndu-se face corelaţii între ele pentru optimizarea unei celule solare din punct de vedere al rezistenţei-serie [6].

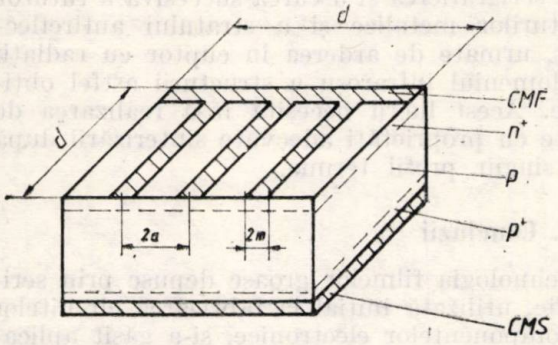


Fig. 3. Structura unei celule solare utilizată pentru estimarea parametrilor electrici (cu semnificaţiile din figura 1)

În ceea ce priveşte realizarea contactelor metalice pe faţa plachetei, pastele serigrafice trebuie să îndeplinească anumite condiţii, adesea neimportante pentru alte aplicaţii [7]:

— un ciclu rapid de ardere. Straturile groase conductoare depuse serigrafic, necesită, în general, durate de ardere de ordinul a 20—60 minute. Pentru evitarea degradării joncţiunii p-n sînt preferate pastele cu timp de ardere mic (3—10 minute);

— o temperatură de ardere mică, necesară, de asemenea, pentru protejarea joncţiunii. În general, temperaturile de ardere a pastelor serigrafice sînt de ordinul a 800—900°C. În cazul celulelor solare sînt preferate pastele cu temperaturi de ardere de 550—700°C, mai ales în situaţia utilizării unui siliciu cu dislocaţii şi conţinut mare de oxigen;

— conţinutul în frită al acestor paste trebuie să fie scăzut. Această componentă a pastei ajută la aderenţa pastei la suport deoarece în timpul arderii, frita în stare topită este foarte reactivă. Pe măsură ce stratul depus se răceşte, frita se solidifică şi introduce rezistenţe de contact de valori apreciabile la interfaţa siliciu-contact metalic. Din aceste motive, conţinutul în frită trebuie să fie de 1—10% din masa pastei;

— conductivitate, aderenţă şi rezoluţie bună a liniei şi necesitatea de a nu se introduce defecte de structură pe suprafaţa siliciului.

Este de remarcat, de asemenea, că pentru unele paste se obţine o îmbunătăţire a rezistenţei de contact prin tratament în acid fluorhidric.

Pentru contactul pe faţa celulei solare au fost încercate atît paste pe bază de metale nobile (Ag), cît şi nenobile (Ni, Al, Cu). Dintre acestea din urmă, cele cu Ni şi Al prezintă o conductibilitate prea mică, iar cele pe bază de Cu prezintă o difuzivitate accentuată a acestuia în siliciu. Singura pastă acceptată pînă în prezent este cea pe bază de Ag. Această pastă conţine, în esenţă, 70—80% pulbere de Ag, 10—20% materiale organice şi 1—10% frită [3]. Pentru o celulă solară tipică cu $r_{n+} = 20 - 25\Omega/\square$, r_c trebuie să fie mai mică de 5 mΩ cm², iar $r_m \leqslant 10$ mΩ/□. Pentru a îndeplini aceste cerinţe, pe lîngă compoziţia pastei prezentată mai sus, trebuie ca grosimea grilei să fie de ordinul a 10—40 μm.

În laborator s-au făcut încercări preliminare cu o pastă de Ag comercială, cu temperatura de ardere de 850°C. S-au efectuat două tipuri de serigrafiere pe suport de siliciu de tip $p\langle 111\rangle$, procesat pentru celule solare, cu site de 165 şi 325 mesh. Arderea pastei s-a efectuat în cuptor- tunel, cu palier la 550 şi 650°C, timp total de 45 minute.

r_m măsurat prin metoda celor patru sonde şi prin metoda pătratelor a dat valori de 4—5mΩ/□. Grosimea stratului metalic, măsurată la microscopul electronic prin reflexie, a fost cuprinsă în domeniul a 20—60 μm.

Probele arse la 550°C au prezentat o aderenţă slabă în cazul depunerilor subţiri ($2m < 0{,}4$ mm).

Probele arse la 650°C au prezentat o aderenţă şi o definiţie bună pentru valori minime ale lăţimii grilei de 0,1 mm pentru straturile realizate cu sită de 325 mesh şi 0,2 mm pentru straturile realizate cu sită de 165 mesh.

Contactele metalice pe spatele plachetei se fac, de regulă, cu pastă de aluminiu, avînd în vedere că aceasta formează cel mai bun contact electric, cu siliciul de tip p şi, în plus, este un material ieftin. Dezavantajul său este acela că nu face contact cu aliaje de lipit pe bază de Sn-Pb. Acest neajuns se rezolvă prin depunerea unui strat suplimentar, eventual paste de Ag-Pd (deoarece pasta de Ag simplă favorizează difuzia Al prin Ag, rezultînd o structură care, de asemenea, nu se poate lipi cu Sn-Pb) arse simultan cu pasta de Al la 640—670°C, paste de Cu, paste de Ni—Ag. Pasta de Al se poate arde la temperaturi mai mari de 700°C timp de 10 minute, pentru realizarea stratului p^+ pe spatele plachetei. În acest caz, este necesar ca grosimea stratului de Al să fie relativ mare (35—50 μm), deci este preferabilă utilizarea unei site cu mesh mic, exemplu 165. De asemenea, un rol important îl joacă şi aici frita, care trebuie optimizată pentru obţinerea unor rezistenţe pe pătrat sub 20 mΩ.

În laborator s-au preparat şi experimentat paste de Al şi Ag pentru utilizarea la realizarea contactului pe spatele celulei. Rezultatele preliminare indică o rezistenţă pe pătrat

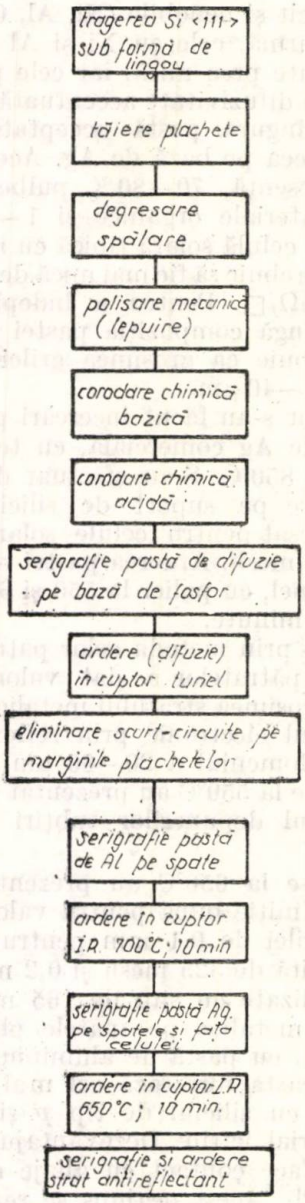


Fig. 4. Diagrama unui proces de obținere a celulelor solare utilizînd și tehnologia serigrafică.

în domeniul 8—12 mΩ pentru pasta de Al și o aderență bună între pasta de Al și Si, pe de o parte, și pasta de Al și pasta de Ag, pe de altă parte.

În figura 4 se prezintă o secvență tipică pentru realizarea celulelor solare pe bază de Si, utilizînd tehnologia serigrafică.

Este de remarcat faptul că, există posibilitatea reducerii numărului etapelor tehnologice prin serigrafierea și uscarea succesivă a tuturor straturilor metalice și a stratului antireflectant, urmate de arderea în cuptor cu radiații în domeniul infraroșu a structurii astfel obținute. Acest lucru necesită însă realizarea de paste cu proprietăți adecvate sinterizării după un singur profil termic.

4. Concluzii

Tehnologia filmelor groase depuse prin serigrafie, utilizată inițial la fabricarea circuitelor și componentelor electronice, și-a găsit aplicabilitatea la realizarea celulelor solare pe bază de siliciu. Pentru aceasta pledează avantajele tehnologiei straturilor groase și anume:

— investiție relativ scăzută în echipamente;
— productivitate crescută;
— economie de materiale;
— posibilitatea automatizării integrale a etapelor tehnologice componente.

Bibliografie

[1] *Fahrenbruch, A., Bube, R. H.* Fundamentals of solar cells. Academic Press, N. Y., London, 1983.

[2] *Dubey, G. C.* Solar Cells, *15*, 1985, p. 1.

[3] *Cheek, G. C.* Teză de doctorat „The development of low-cost fabrication technologies for semicrystalline silicon-solar cells", K. U. Leuven, 1984.

[4] *Hall, R. N.* Solid State Electronics, *24*, 1981, p. 595.

[5] *A de Vos.* Solar Cells, *12*, 1984, p. 311.

[6] *Wyeth, N. C.* Solid State Electronics, *20*, 1977, p. 629.

[7] *Firor, K., Hogan, S.* Solar Cells, *5*, 1981, p. 87.

CZ 621.47:621.397.3

ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
ACHIZIȚIE ȘI TRANSMITERE DE DATE

Sistem fotovoltaic pentru culegere și transmitere de date

EDUARD LAUCI, * NICOLAE OLARIU *, MIHAI VLAD *, CORNEL CARAIANI ** — BUCUREȘTI

Introducere

Sursele neconvenționale de energie reprezintă o alternativă utilizată pe scară tot mai largă pentru alimentarea cu energie electrică a unor consumatori situați în locuri izolate, greu accesibile pentru racordarea la rețeaua electrică națională. În condițiile actuale ale crizei energetice mondiale s-au intensificat cercetările privind utilizarea energiei solare pentru obținerea energiei electrice.

Energia solară, ca sursă de energie primară, prezintă avantajul că este inepuizabilă. Un studiu UNESCO relevă faptul că o suprafață de aproximativ 220 000 km² de deșert, acoperită cu module fotovoltaice, ar asigura consumul de energie electrică al întregii planete [1].

Un domeniu de largă aplicabilitate al surselor de energie fotovoltaică îl constituie culegerea și transmiterea datelor din puncte izolate. Avînd în vedere specificul aplicației, atît sursa autonomă fotovoltaică, cît și echipamentul de culegere și transmitere de date trebuie să prezinte o serie de particularități care să conducă la o structură optimizată din punct de vedere al performanțelor și costurilor. Astfel, pe lîngă necesitatea unui consum redus de energie al consumatorului, este necesară realizarea unui generator fotovoltaic de o fiabilitate ridicată, precum și crearea unui sistem de monitorizare capabil să furnizeze în permanență informații privind funcționarea instalației.

1. Probleme privind implementarea echipamentelor fotovoltaice de culegere și transmisiuni de date

Un echipament fotovoltaic de culegere și transmitere de date are schema-bloc prezentată în figura 1. Principalele blocuri componente sînt următoarele:

— *GF* — generatorul fotovoltaic format din module fotovoltaice, care realizează conversia energiei luminoase a soarelui direct în energie electrică;

— C — consumatorul, care în cazul acestei instalații este constituit dintr-o stație tip ECAROM 601, un radiotelefon și o lumină de balizaj;

— *BA* — bateria de acumulatoare, care stochează energia electrică produsă de generatorul fotovoltaic și alimentează consumatorul;

— CS — controlerul de sistem, care supraveghează funcționarea sistemului, protejează bateria împotriva descărcării profunde și a supraîncărcării și contorizează energia electrică vehiculată între generator, baterie și consumator;

— *Dp* — diodă de protecție, care nu permite descărcarea bateriei de acumulatoare pe generatorul fotovoltaic.

În figura 1 este reprezentat, cu linie continuă, sensul de circulație a energiei în sistem, iar cu linie punctată — modul de vehiculare a fluxului informațional privind starea sistemului.

Prima etapă în proiectarea și implementarea unui echipament fotovoltaic pentru culegerea și transmiterea datelor o constituie documentarea de bază. Aceasta implică atît culegerea unor date privind funcționarea și consumul energetic al sarcinii, cît și obținerea unor informații privind amplasamentul echipamentului (zonă muntoasă sau de cîmpie, date meteorologice: temperatură, radiație solară).

Echipamentul descris în această lucrare are sistemul de culegere și transmitere de date format din:

— stație automată ECAROM 601;
— radiotelefon tip RTF — 4MF-S (SD);
— balizaj.

Necesarul de energie electrică al sistemului este:

a. În regim de așteptare/achiziție date cu o funcționare practic permanentă (24 ore din 24):

— stația ECAROM 601:

$$Ur_1 = 24\text{V}; \quad Ir_1 = 200\ \text{mA};$$

— radiotelefonul:

$$Ur_2 = 12\text{V}; \quad Ir_2 = 1\text{A}.$$

b. În regim de transmitere de date (cu un timp de emisie de maximum 40 secunde pe oră):

— stația ECAROM 601:

$$Ue_1 = 24\text{V}; \quad Ie_1 = 200\ \text{mA};$$

— radiotelefonul:

$$Ue_2 = 12\ \text{V}; \quad Ie_2 = 3{,}5\ \text{A}.$$

c. Balizajul cu perioada de licărire de 30 s și timp de licărire de 0,1 s:

— pe timp de zi:

$$Ub_1 = 12\ \text{V}; \quad Ib_1 = 6\ \text{mA};$$

* Cercet. șt. la I. C. P. E. — București.
** Intreprinderea de Elemente pentru Automatizare — București.

— pe timp de noapte (iluminare sub 100 lx) :

$$Ub_2 = 10{,}3 \text{ V}; \quad Ib_2 = 1{,}5 \text{ A}.$$

Pe baza acestui necesar se poate determina consumul energetic al fiecărui echipament astfel :

— pentru staţia ECAROM 601 :

$$W_1 = Ur_1 Ir_1 t_r + Ue_1 Ie_1 t_e, \quad (1)$$

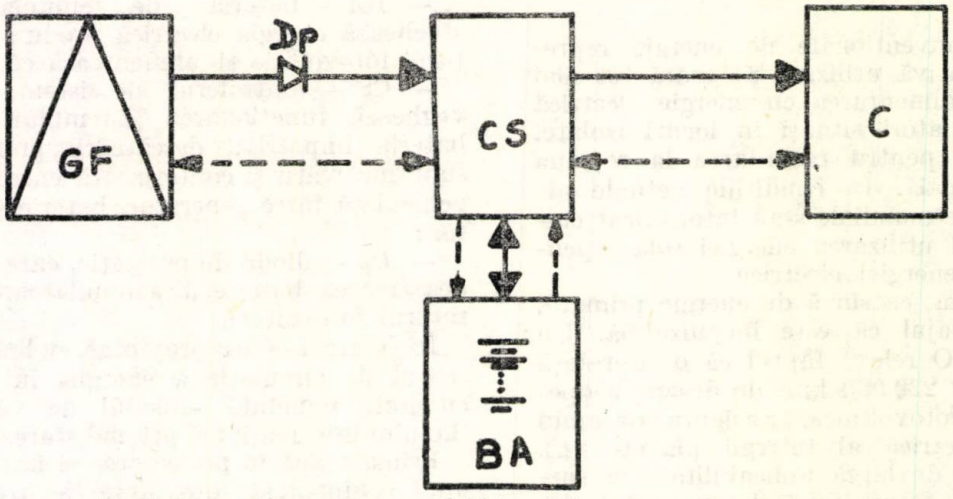


Fig. 1. Schema-bloc a echipamentului fotovoltaic pentru culegerea de date.

— pentru radiotelefon :

$$W_2 = Ur_2 Ir_2 t_r + Ue_2 Ie_2 t_e, \quad (2)$$

— pentru balizajul luminos :

$$W_3 = Ub_2 Ir_2 t_r + Ub_2 Ib_2 (24 - t_1) c, \quad (3)$$

unde t_1 este numărul de ore pe zi cu lumină peste 100 lx, iar c un coeficient ce ţine seama de regimul de licărire al balizei.

Consumul energetic total al echipamentului :

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (4)$$

este de 417 Wh/zi.

Pornind de la necesarul energetic al consumatorului şi de la condiţiile radiative medii ale ţării noastre, s-a dimensionat generatorul fotovoltaic şi capacitatea bateriei de acumulatoare.

Astfel, utilizînd module fotovoltaice tip SM 12—36/50 a rezultat o configuraţie medie a generatorului fotovoltaic avînd în componenţă 26 de module structurate în două grupe-serie de cîte 13 module-paralel fiecare.

De asemenea, a rezultat capacitatea medie a bateriei de acumulatoare (200 Ah), putîndu-se utiliza baterii de tracţiune de tip 5 PAS 220, 4 PAS 245 sau 1xky 210.

2. Model experimental de sistem fotovoltaic de culegere şi transmisiuni de date

Domeniul de utilizare a echipamentelor de culegere şi transmitere de date este foarte larg [2]: meteorologie, hidrologie, producţia de petrol şi gaze naturale, supravegherea şi controlul traficului rutier, feroviar sau fluvial etc. În acest sens a fost realizat în ICPE, în colaborare cu FEA, un model experimental care este testat în prezent în condiţii reale de funcţionare în vederea optimizării şi fabricării lui pentru diferiţi beneficiari.

În continuare, din sistemul cu configuraţia-bloc din figura 1 vor fi succint prezentate echipamentul de culegere de date ECAROM 601 şi controlerul de sistem, care prezintă un grad de noutate pe plan naţional.

2.1. Echipamentul ECAROM 601

Echipamentul ECAROM 601 [3] permite colectarea de date de la senzori de tip analogic, cu ieşire în curent sau tensiune în semnal unificat, sau de la senzori de tip numeric, precum şi efectuarea unor comenzi de tip pornit-oprit. Optimizarea consumului energetic al echipamentului s-a obţinut prin utilizarea tehnologiei CMOS. Din punct de vedere al exploatării datelor, ECAROM 601 permite accesul în timp real la datele colectate prin transmisie radio sau telefonică pe 2 sau 4 fire.

Principalele blocuri componente ale echipamentului sînt : *TEL* (TELEMETRIE — unitatea centrală), convertor analogic-numeric(*CAN*) bloc semnalizări (*SM*), interfaţă analogică (*ITA*), bloc-telecomandă (*TC*), *MODEM*, telemetrie procedură specială (*PS*) şi blocul de alimentare.

Utilizarea unei surse de energie neconvenţională, fotovoltaică, pentru alimentarea echipamentului de culegere şi transmitere de date, conferă posibilitatea obţinerii unei eficienţe economice ridicate, în condiţiile unei siguranţe sporite în exploatare [4]. Problemele ridicate de implementarea sistemelor fotovoltaice sînt

legate, în primul rînd, de caracterul aleator al energiei primare (solare), corelată cu variaţia altor parametri care influenţează procesul de conversie al energiei (temperatură, regim de precipitaţii, grad de poluare).

Avînd în vedere că echipamentul de culegere şi transmitere de date are consum maxim în regim de emisie, pentru a se putea realiza o repartizare optimă în timp a consumului, în concordanţă cu disponibilitatea energetică a generatorului fotovoltaic, este necesar ca echipamentul să fie prevăzut cu un sistem de stocare locală a informaţiei. Existenţa memoriei locale duce la:

— creşterea curbei de consum pe perioadele în care există un surplus energetic în sistem, prin transmiterea în bloc a informaţiei stocate local;

— scurtarea timpului total de transmisie;

— evitarea regimului de transmisie în perioadele de deficit energetic prin stocarea locală a datelor.

2.2. Controlerul de sistem

Controlerul de sistem este blocul care supervizează întregul sistem, fiind capabil să semnalizeze şi să ia decizii cu privire la starea de funcţionare a blocurilor componente. În principal, controlerul de sistem se compune din două circuite: regulatorul de baterie (*RB*) şi controlul de energie (*CE*).

Regulatorul de baterie are rolul de a proteja bateria de acumulatoare la supraîncărcare, prin deconectarea generatorului fotovoltaic, precum şi la descărcarea profundă, prin deconectarea consumatorului. Regulatorul de baterie este format dintr-un circuit local de comandă şi control al încărcării, cu schema-bloc prezentată în figura 2, şi din circuitul de forţă şi acţionare propriu-zis, prezentat în figura 3.

Generatorul fotovoltaic (*GF*) se cuplează direct la bateria de acumulatoare (*BA*) prin intermediul contactelor unui contactor cu memorie mecanică, care necesită, pentru acţionare,

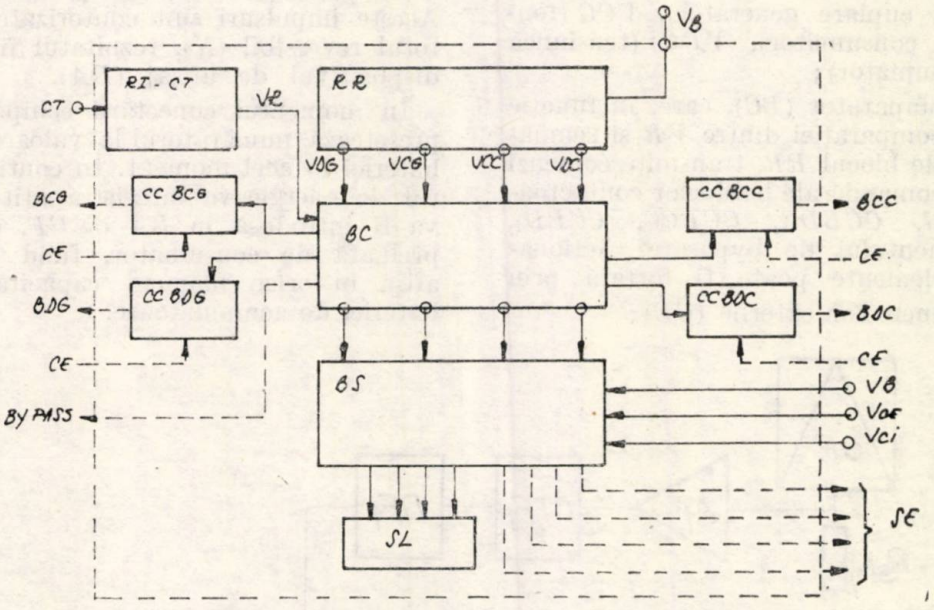


Fig. 2. Circuitul de comandă şi control — regulator baterie.

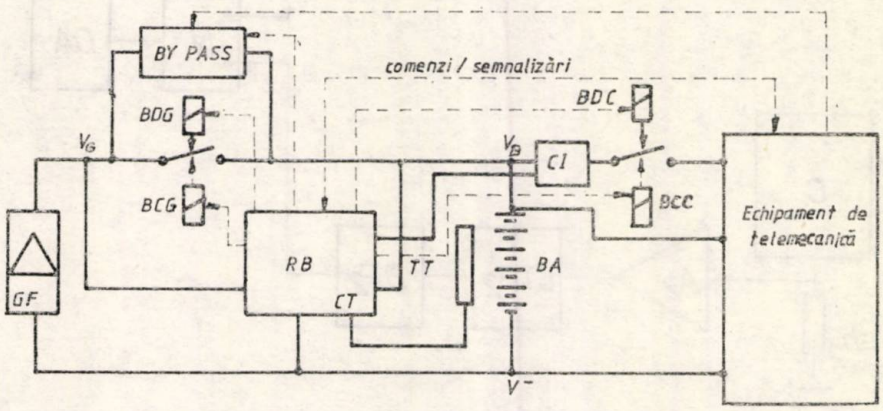


Fig. 3. Circuitul de forţă — regulator baterie.

un semnal de tip impuls pe bobinele de conectare (*BCG*), respectiv de deconectare (*BDG*). În cazul în care bateria este încărcată, se asigură funcționarea în regim flotant, prin intermediul circuitului de bypasare, menținînd astfel *BA* la un nivel înalt de încărcare atîta timp cît *GF* furnizează energie.

Comenzile locale pentru elementele de execuție, precum și comenzile și semnalizările externe sînt date în funcție de starea de încărcare a bateriei, care este corelată cu tensiunea V_B și temperatura bateriei, măsurată cu traductorul de temperatură (*TT*).

Regulatorul de încărcare/descărcare al bateriei este alcătuit din următoarele blocuri principale:

— referință internă — compensare în temperatură (*RI—CT*), care furnizează tensiunea de referință (V_R) dependentă de temperatura bateriei, sesizată la intrarea circuitului *CT*;

— rețeaua rezistivă (*RR*), care divizează tensiunea bateriei în vederea obținerii semnalelor *VDG* (tensiune decuplare generator), *VCG* (tensiune cuplare generator), *VCC* (tensiune cuplare consumator), *VDC* (tensiunea decuplare consumator);

— blocul comparator (*BC*), care, în funcție de rezultatul comparației dintre *VR* și semnalele furnizate de blocul *RR*, transmite comenzi circuitelor de comandă ale bobinelor contactoarelor (*CCBCG*, *CCBDG*, *CCBCC*, *CCBD*), respectiv elementului de bypasare. Acționarea acestor elemente poate fi forțată prin ntermediul comenzilor externe (*CE*);

— blocul de semnalizare (*BS*) care furnizează semnalizările locale (*SL*) și semnalizările externe (*SE*) privind starea sistemului.

Tensiunea la bornele bateriei de acumulatoare nu este o mărime care să caracterizeze complet starea de încărcare a bateriei.

Informația cea mai exactă despre starea unei baterii o constituie capacitatea ei la un moment dat. Rolul contorului de energie (*CE*) este tocmai acesta de a afișa în orice moment capacitatea pe care o are bateria.

În acest scop *CE* monitorizează energia furnizată de *GF*, care încarcă *BA*, precum și energia consumată din baterie. Cele două mărimi sînt culese de pe rezistențele shunt Rsh_1, Rsh_2, parcurse de curentul de încărcare, respectiv, descărcare al *BA*. Urmează o prelucrare a celor două semnale pe canalele formate din amplificatoarele A_1, A_2, convertoarele tensiune-frecvență CTF_1, CTF_2 și divizoarele de frecvență DF_1, DF_2.

La ieșirea divizorului de frecvență se obține un număr de impulsuri proporțional cu curentul ce parcurge shuntul de pe canalul respectiv. Aceste impulsuri sînt contorizate de numărătorul reversibil (*N*), rezultatul fiind afișat pe dispozitivul de afișaj (*DA*).

În momentul conectării echipamentului, se presetează numărătorul la valoarea capacității bateriei în acel moment. În continuare, contorul de energie va înregistra atît energia care va fi introdusă în *BA* de *GF*, cît și energia preluată de consumator, fiind capabil de a afișa în orice moment capacitatea în Ah a bateriei de acumulatoare.

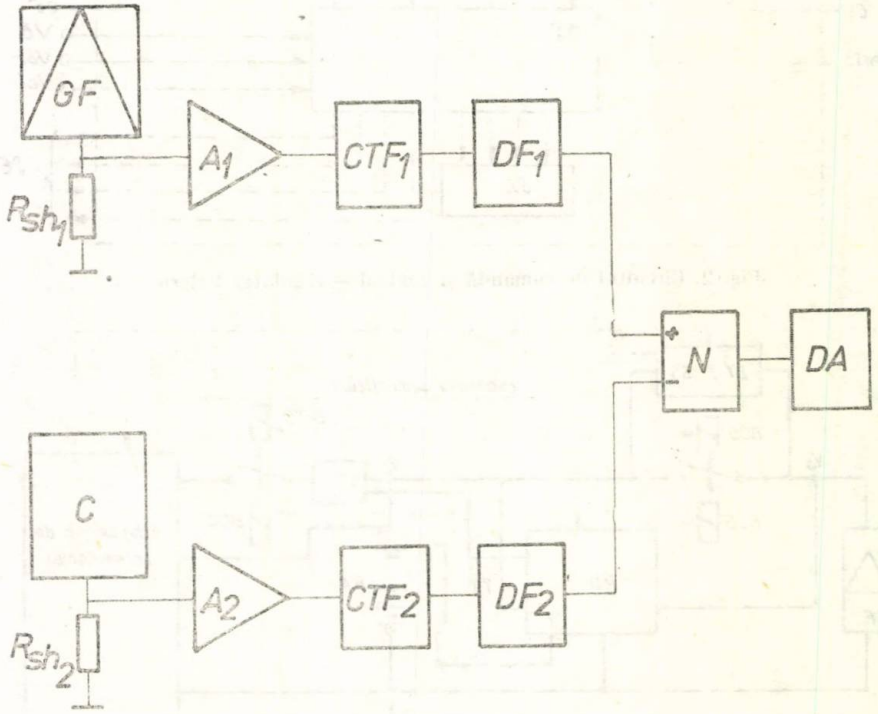


Fig. 4. Schema-bloc contor de energie.

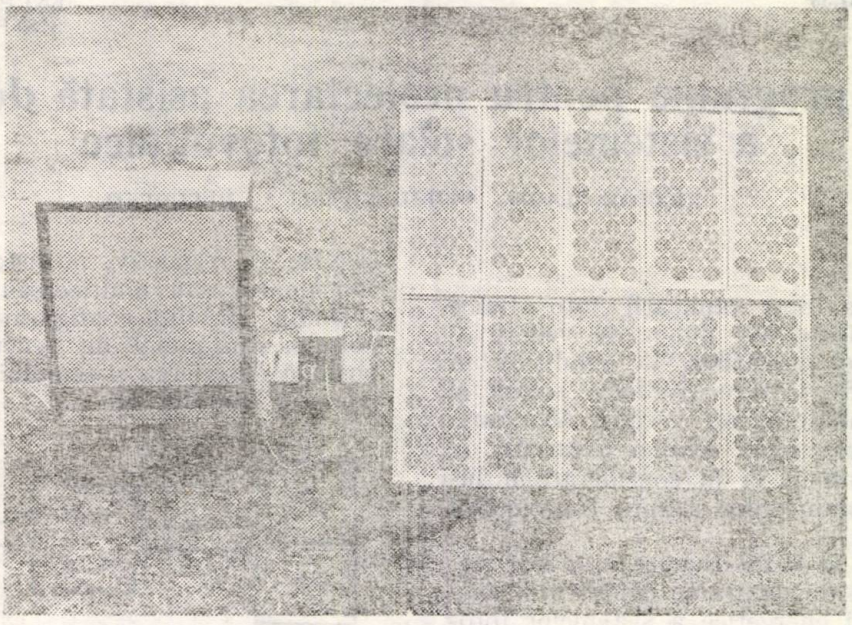


Fig. 5. Generatorul fotovoltaic.

Contorul de energie (*CE*) a fost realizat numai cu componente integrate CMOS, ceea ce determină un consum redus, iar citirea afișajului se face prin acționarea unui întrerupător, fapt care duce, de asemenea, la reducerea consumului de energie al circuitului.

3. Concluzii

Experimentarea unui sistem fotovoltaic de culegere și transmitere de date prezintă o importanță deosebită atît pentru stabilirea unei configurații optime a generatorului fotovoltaic, cît și pentru determinarea fiabilității și siguranței în funcționare a echipamentului.

În acest sens au fost testate în condiții, de laborator, blocurile componente ale sistemului și a fost efectuată o probă de funcționare de lungă durată (1 an) cu echipamentul ECAROM 601 alimentat din sursă de energie fotovoltaică. Generatorul fotovoltaic a avut în componență 10 module fotovoltaice de tip SM 12-36/50, format în 5 grupe paralel, de cîte două module înseriate.

Rezultatele experimentului au evidențiat oportunitatea utilizării surselor neconvenționale de energie pentru alimentarea echipamentelor de culegere și transmitere de date și avantajele majore pe care le prezintă aceste sisteme:

- autonomie și siguranță în exploatare;
- fiabilitate ridicată;
- costuri totale de instalare și întreținere mici, în raport cu alte surse de energie;
- durată mare de funcționare (peste 10 ani);
- grad ridicat de adaptabilitate al generatorului fotovoltaic la acest tip de consumator.

Bibliografie

[1] *Palz, W.* Solar electricity — an economic approach to solar energy.

[2] * * * Measure, monitor, control. Solarex Current — 1985.

[3] * * * Manual de utilizare ECAROM 601.

[4] *Olariu, N., Caraiani, C., Vlad, M.* Controler energetic pentru sisteme fotovoltaice — sesiune ICPE 1985.

CZ 621.47:001.13—681.33

ENERGIE SOLARĂ
SISTEME FOTOVOLTAICE

Pachet de programe pentru proiectarea asistată de calculator a sistemelor solare fotovoltaice

NICOLAE OLARIU, OVIDIU POPESCU * — BUCUREŞTI

Introducere

Implementarea unor aplicaţii fotovoltaice eficiente, optimizate din punct de vedere al performanţelor şi costurilor, în condiţiile în care mărimile de intrare (radiaţia solară şi temperatura ambiantă) au variaţii aleatoare, impune abordarea unor tehnici avansate de proiectare, menite să ia în considerare influenţa tuturor parametrilor asupra funcţionării sistemului [1, 2, 3].

În acest scop, la ICPE-Bucureşti, a fost elaborat un pachet de programe (SPVPAK) destinat optimizării energetice a sistemelor fotovoltaice, precum şi pentru analiza şi simularea funcţionării acestora [4].

1. Caracteristicile generale ale pachetului de programe SPVPAK

Pachetul de programe SPVPAK realizat în structură modulară, are în componenţă următoarele module principale :

— modul definire configuraţie-sistem ;
— modul modelare componente ;
— modul dimensionare/optimizare ;
— modul simulare-funcţionare ;
— modul analiză economică.

Structura modulară permite efectuarea de analize independente la nivelul principalelor funcţii ale programului (dimensionare/optimizare, simulare, analiză economică), oferă posibilitatea reactualizării rapide a parametrilor specifici fiecărui modul, precum şi a celor cu caracter general şi facilitează implementarea pachetului de programe pe mini sau micro sisteme. Legătura dintre module este realizată de un program-monitor care coordonează şi funcţiile intrare/ieşire (PVMAN).

2. Modul definire configuraţie sistem

În cadrul acestui modul se pot genera fişiere de date ce descriu configuraţia sistemului şi/sau fişiere ce descriu caracteristicile generale ale componentelor.

Din punct de vedere al configuraţiei în figura 1 sînt prezentate principalele configuraţii posibile, clasificate în sisteme cu sau fără stocaj electric şi, respectiv, în sisteme cu un singur consumator sau multiconsumator.

Odată stabilită configuraţia sistemului fotovoltaic, din punct de vedere topologic, este posibilă descrierea sistemului la nivel de componente (tabelul 1).

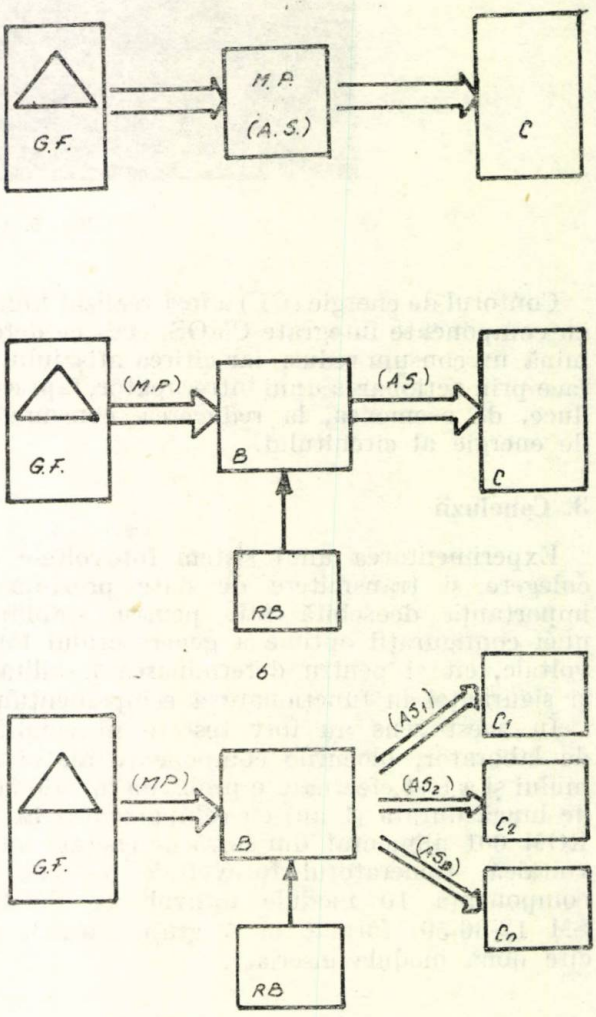


Fig. 1. Configuraţie sistem.

Majoritatea parametrilor ce descriu caracteristicile generale ale componentelor sînt iniţializate la valori medii, uzuale sistemelor fotovoltaice, existînd posibilitatea ca utilizatorul să actualizeze aceste valori cu valorile reale (determinate experimental) specifice aplicaţiei. Acest lucru permite efectuarea diferitelor analize cu precizie ridicată, chiar dacă utilizatorul

* Ing. Olariu, N. şi ing. Popescu, O. — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) — Bucureşti.

Tabelul 1

Definire componente

Nr. crt.	Componente sistem	Parametri
1	Consumator	— curba de consum $P_c(t)$ — model consumator
2	Factori energetici	— locație: latitudine, longitudine standard, longitudinea locului, altitudine, grad de poluare — valori medii radiație, temperatură — model date meteorologie
3	Generator fotovoltaic	— tip de orientare/poziționare — caracteristici module fotovoltaice — tensiunea nominală a generatorului — model generator fotovoltaic
4	Baterie de acumulatoare	— tip baterie — caracteristici element — tensiune nominală, randament, capacitate nominală, curent autodescărcare — model baterie — model regulator baterie
5	Echipament de condiționare a puterii (regulator, maximizator, adaptor de sarcină)	— randamente, factor de adaptare — funcții de transfer

nu dispune de toate datele reale pentru definirea completă a sistemului.

3. Modul modelare componente

În cadrul acestui modul se stabilesc modelele diferitelor componente ale sistemului și se generează bazele de date specifice acestor modele.

Consumatorul de curent continuu *este modelat* prin caracteristica I—V, iar consumatorul de curent alternativ prin caracteristica I-V echivalentă la intrarea invertorului. În cadrul programului sînt inițializate caracteristici liniare de tip rezistiv, tensiune constantă, respectiv curent constant, utilizatorul putînd introduce și caracteristici neliniare sub formă explicită de tip $V = V(I)$ sau $I = I(V)$ sau numeric prin perechi de valori (I, V).

Modelul datelor meteorologice (radiație solară, temperatură) generează fișiere de date ce conțin date statistice sau date reale corespunzătoare unei perioade anterioare.

Pentru radiația solară datele statistice (valori medii, funcții densitate de probabilitate, valori aleatoare) sînt generate fie din valorile reale prin prelucrări statistice uzuale fie pe baza modelului statistic general. În acest ultim caz algoritmul de generare a datelor radiative constă în compunerea elementelor deterministe impuse de geometria solară cu elementele aleatoare descrise de statistica generală a indicelui de claritate și de funcțiile de corelație dintre factorul difuz și indicele de claritate [4, 5, 6, 7].

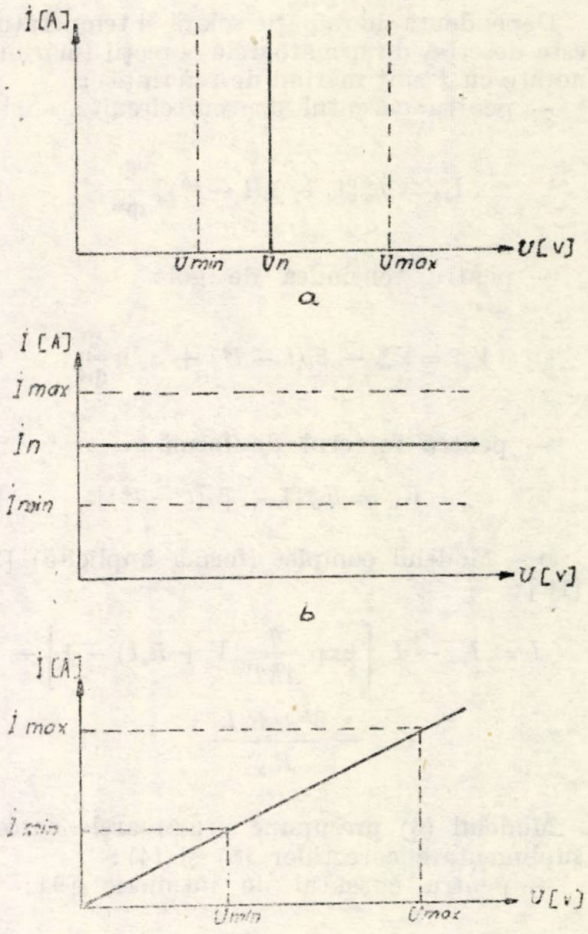


Fig. 2. Caracteristici I — V consumator: a — caracteristica tip U constant; b — caracteristică tip I constant; C — caracteristică tip rezistiv.

Generatorul fotovoltaic este modelat pe diferite nivele de complexitate. Modelul cel mai simplu este definit prin curba putere — radiație solară liniarizată ($P = k_p\Phi$) și factorul mediu de adaptare dintre generator și consumatorul echivalent la bornele lui (f_{eGFC}).

Pentru simulări sau analize de precizie mai ridicată, caracteristica I-V a celulelor (modulelor) solare este descrisă de următoarele două modele :

a — Modelul simplificat (forma explicită) [8] :

$$I = I_{sc}\left[1 - \exp K_0\left(\frac{V}{V_{oc}} - 1\right)\right], \qquad (1)$$

unde factorul de formă este definit din punctul de putere maximă :

$$K_0 = \frac{\ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right)}{1 - \frac{V_m}{V_{oc}}}. \qquad (2)$$

Dependența de radiație solară și temperatură este descrisă de următoarele corecții (mărimile notate cu * sînt mărimi de referință) :

— pentru curentul de scurtcircuit :

$$I_{sc} = I_{sc}^*[1 + \beta_I(t - t^*)]\frac{\Phi}{\Phi^*}, \qquad (3)$$

— pentru tensiunea de gol :

$$V_{oc} = V_{oc}^* - \beta_v(t - t^*) + \alpha_v \ln\frac{\Phi}{\Phi^*}, \qquad (4)$$

— pentru factorul de formă :

$$K_0 = K_0^*[1 + \beta_k(t - t^*)]. \qquad (5)$$

b — Modelul complet (forma implicită) [2], [10] :

$$I = I_{sc} - I_0\left[\exp\frac{q}{AkT}(V + R_sI) - 1\right] - \frac{V + R_sI}{R_{sh}}. \qquad (6)$$

Modelul (6) presupune următoarele corecții suplimentare corecțiilor (3) și (4) :

— pentru curentul de întuneric [9] :

$$I_0 = I_0^*\left(\frac{T}{T^*}\right)^{\gamma} \cdot \exp\left[-V_{go}\frac{k}{q}(T - T^*)\right], \qquad (7)$$

— pentru factorul de eficiență [9] :

$$A = A^* \cdot \frac{T^*}{L} - \beta_A \frac{T - T^*}{T}. \qquad (8)$$

În cadrul acestor corecții temperatura la nivelul celulei se determină în funcție de temperatura nominală de funcționare și temperatura ambiantă, sau în urma analizei termice la nivelul modulului [1], [2], [4].

Modelul de generator se obține considerînd regulile de compunere din tabelul 2 (ipoteza elementelor identice) [13].

În cadrul programului sînt posibile și analize de interconectare electrică a elementelor

Tabelul 2

Parametru	n_s elemente serie	n_p elemente paralel
I_{sc}	I_{sc}	n_pI_{sc}
V_{oc}	$n_s \cdot V_{oc}$	V_{oc}
A	$n_s \cdot A$	A
I_o	I_o	n_pI_o
β_v	$n_s \cdot \beta_v$	β_v
α_v	$n_s \cdot \alpha_v$	α_v
β_A	$n_s \cdot \beta_A$	β_A
R_s	$n_s \cdot R_s$	$\frac{R_s}{n_p}$
R_{sh}	$n_s \cdot R_{sh}$	$\frac{R_{sh}}{n_p}$

cu parametri diferiți în vederea stabilirii unor limite de dispersie a acestor parametri.

Elementul de stocaj electric este modelat prin intermediul caracteristicilor tensiune — stare de încărcare ($V-Q$) [12].

În figura 3 sînt prezentate caracteristicile parametrice $V-Q$ pentru încărcare și respectiv

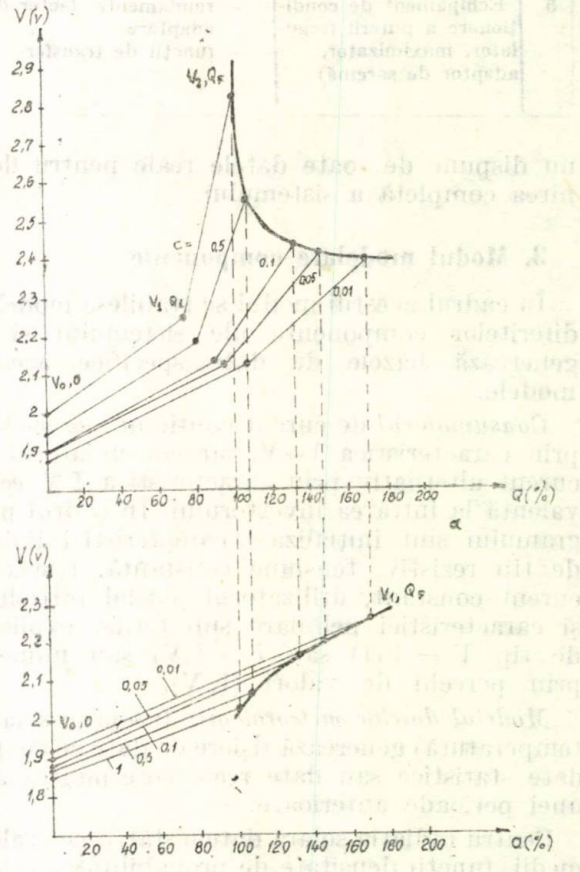


Fig. 3. Model baterie: a) încărcare; b) descărcare.

descărcare, unde parametrul c reprezintă valoarea normată a curentului:

$$c = \frac{10I}{AH_n}. \quad (9)$$

Pentru analize în care nu este necesar un model în detaliu pentru baterie (dimensionare energetică) bateria este modelată prin randamentul mediu intrare/ieșire.

Modelul de baterie este corelat cu *modelul de regulator baterie* care poate fi de tip releu de tensiune sau cu control al stării de încărcare.

Echipamentele de condiționare a puterii (maximizator de putere sau adaptor de sarcină) sînt modelate prin caracteristicile I—V intrare/ /ieșire și curbe de randament.

4. Modul dimensionare/optimizare

În cadrul acestui modul se determină dimensiunile optime ale generatorului fotovoltaic și ale stocajului, pentru a se asigura energia necesară consumatorului la un nivel de încredere definit de utilizator.

Evoluția sistemului fotovoltaic este descrisă printr-un proces stohastic de tip Marcov în raport cu energia stocată [14].

Algoritmul implementat în cadrul acestui modul folosește ca mărimi de intrare funcțiile densitate de probabilitate a radiației solare la suprafața cîmpului de module fotovoltaice, corespunzătoare perioadei de interes, curba de consum (care include și pierderile din sistem), modelul simplificat al sursei solare elementare (modul fotovoltaic), randamentul mediu intrare/ /ieșire al sistemului de stocaj și probabilitatea de disponibilitate energetică a sistemului.

Principalele mărimi de ieșire din cadrul acestui modul sînt [4]:

— numărul total de module fotovoltaice și configurația generatorului ($n_t = n_s \times n_p$);

— volumul stocajului;

— deficitul energetic din sistem corespunzător probabilității impuse;

— volumul investiției.

Schema-bloc a acestui modul este prezentată în figura 4.

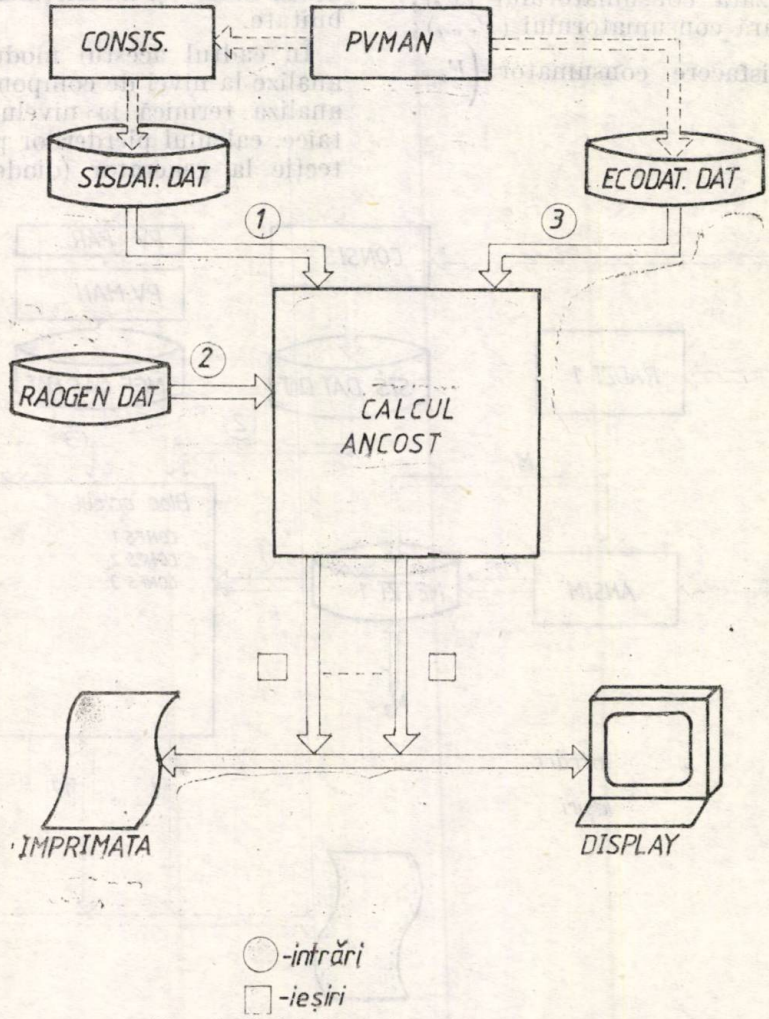


Fig. 4. Modul dimensionare/optimizare.

4. Modul simulare funcționare

Acest modul permite simularea funcționării instalației fotovoltaice definite în modulul configurației sistem și în modulul modelare componente în vederea evaluării performanțelor (orare, zilnice sau lunare).

Acest modul necesită următoarele date de intrare [4]:

- — date meteorologice;
- — datele de configurație sistem și de consum;
- — modelele componentelor;
- — starea inițială a sistemului (pentru configurație cu bateria de acumulatoare).

Ieșirile din cadrul acestui modul sînt [4]:

- Valori discrete corespunzătoare unității de timp considerate:

— puterea maximă a generatorului fotovoltaic ($P_{G\,max}$);

— puterea debitată de generator (P_G);

— factor de utilizare al generatorului fotovoltaic:

$$Fu = \frac{P_G}{P_{G\,max}} \cdot 100;$$

— puterea furnizată consumatorului (P_c);

— puterea necesară consumatorului ($P_{c\,nec}$);

— factor de satisfacere consumator $\left(F_s = \frac{P_c}{P_{c\,nec}} \times 100\right)$,

— date privind bateria (pentru sistemele cu stocaj electric): stare de încărcare, tensiune la borne, regim de funcționare etc.

- Valori integrate pe întreaga perioadă analizată:

— randamentul generatorului;

— factor de utilizare a generatorului;

— randament subsistem (stocaj — echipament de condiționare a puterii);

— factor de satisfacere a consumatorului;

— stare finală sistem (pentru configurațiile cu stocaj).

Schema-bloc a acestui modul este prezentată în figura 5.

Avînd în vedere nivelul la care se cunosc, în general, datele meteorologice (valori medii lunare), cu ponderea cea mai ridicată, intervin simulările zilnice ale funcționării sistemului în care valorile radiative orare sînt generate din valorile medii lunare.

De asemenea, foarte utilă, în faza de proiectare, este simularea funcționării instalației fotovoltaice pe o perioadă mai mare de timp (simulare lunară) în valori radiative zilnice aleatoare generate pe baza valorilor radiative medii lunare și a funcțiilor densitate de probabilitate.

În cadrul acestui modul se pot efectua și analize la nivel de componente ca de exemplu: analiza termică la nivelul modulelor fotovoltaice, calculul pierderilor pe elementele de protecție la generator (diode serie și diode by-

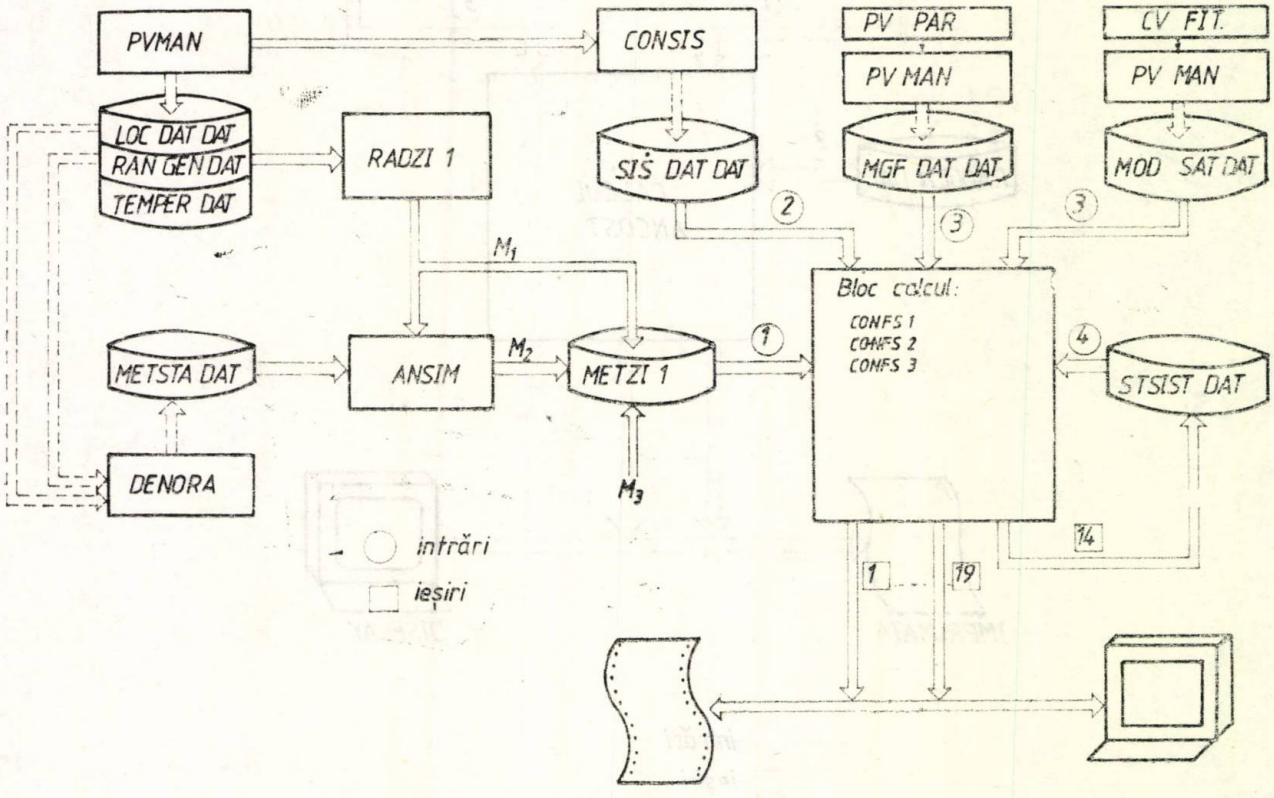


Fig. 5. Modul simulare funcționare.

pass), analiza interconectării modulelor (celulelor) cu parametri diferiți etc.

6. Modul analiză economică

Acest modul permite determinarea unor parametri economici de tip volumul investiției, costul total al energiei produse de instalația fotovoltaică pe întreaga durată de viață a acesteia și timpul de recuperare a investiției.

În cadrul acestui modul, pe lîngă datele privind configurația sistemului și datele meteorologice medii (necesare evaluării performanțelor anuale ale instalației), sînt utilizate date referitoare la costurile diferitelor componente, costuri de exploatare, timpul de viață al componentelor, rata defectărilor etc.

Modulul analiză economică împreună cu modulul dimensionare/optimizare permite optimizarea sistemului din punct de vedere al raportului performanțe/cost.

Schema-bloc a acestui modul este prezentată în figura 6.

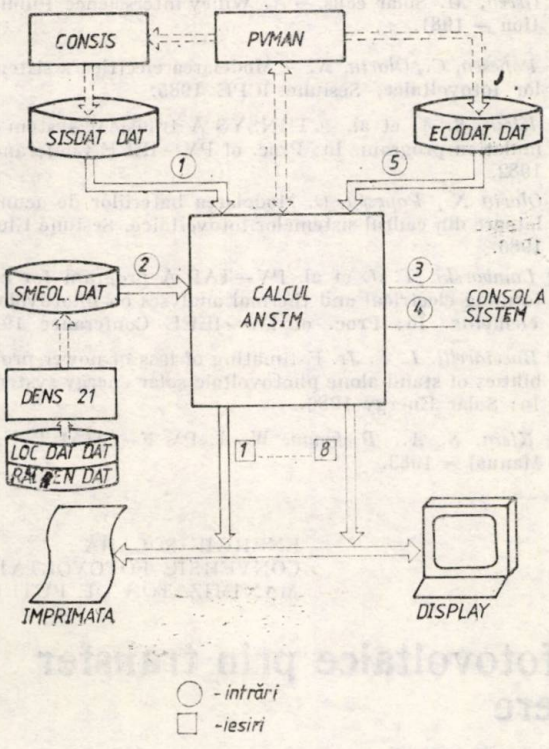


Fig. 6. Modul analiză economică.

7. Concluzii

Pachetul de programe SPVPAK are caracteristici similare unor programe produse de firme de renume din domeniul fotovoltaic [15], [13], [8], [11], [3] (exemplu PVF-CHART, PV-TAP, APOLLO, TRNSYS etc.), atît din punct de vedere al algoritmilor utilizați, cît și din punct de vedere al modelării componentelor. Programele de analiză propuse oferă în plus o procedură specifică de dimensionare, precum și metode statistice de analiză în vederea optimizării sistemului.

De asemenea, prin utilizarea unor modele statistice radiative generale (ce dau o bună aproximare a condițiilor medii reale) programele propuse au un caracter general putînd fi utilizate la implementarea aplicațiilor fotovoltaice în orice zonă, definită de un set restrîns de parametri ușor accesibili (locație, și respectiv valoarea medie a radiației zilnice orizontale sau echivalentul acesteia — indicele de claritate).

Structura flexibilă a pachetului de programe permite analiza unei game variate de aplicații, acoperind practic toate aplicațiile curente.

Pentru testare, pachetul de programe SPVPAK a fost utilizat la implementarea unor aplicații fotovoltaice urmărite ulterior în funcționare (instalație pentru protecție catodică, surse autonome pentru stații meteorologice etc.), iar rezultatele experimentale obținute au confirmat estimările privind comportarea sistemului făcute în faza de proiectare.

În final, se poate afirma că, prin modul interactiv de lucru, prin analiza unor variante în care utilizatorul adaptează la valorile parametrilor definiți inițial în program situația concretă, prin analiza rezultatelor obținute și compararea lor cu cele experimentale, pachetul de programe propus reprezintă și un instrument de instruire, de dezvoltare a cunoștințelor utilizatorului privind comportarea sistemelor fotovoltaice.

Listă de simboluri

A — factor de eficiență;
AH — capacitatea nominală a bateriei (regim C_{10});
F_s — factor de satisfacere a consumatorului;
F_u — factor de utilizare a generatorului fotovoltaic;
I — curent;
I_m — curent în punctul de putere maximă;
I_{sc} — curent de scurtcircuit;
I_0 — curent de întuneric;
K_0 — factor de formă;
P — putere;
P_c — putere furnizată consumatorului;
$P_{c\,nec}$ — putere necesară consumatorului;
P_G — putere debitată de generatorul fotovoltaic;
$P_{G\,max}$ — putere maximă a generatorului fotovoltaic;
Q — capacitatea bateriei;
R_s — rezistență serie;
R_{sh} — rezistență paralel;
T — temperatura absolută;
V — tensiune;
V_m — tensiune în punctul de putere maximă;
V_{oc} — tensiune de gol;
V_{go} — potențialul benzii interzise;
Φ — intensitatea radiației solare pe suprafața modulului fotovoltaic (W/m²);
c — valoarea normată a curentului prin baterie;
k — constanta lui Boltzman;
k_p — coeficient de putere;
n_p — nr. de elemente în paralel;
n_s — nr. de elemente în serie;
n_t — nr. total de elemente;
t — temperatura (°C);
q — sarcina electronului;
α_v — coeficient de variație cu radiația a V_{oc};

β_A — coeficient de variație cu temperatura a factorului de eficiență;
β_I — coeficient de variație cu temperatura a I_{sc};
β_v — coeficient de variație cu temperatura a V_{oc};
γ — exponentul temperaturii.

Anexă

Principalele module-program și fișiere de date din cadrul SPVPAK (fig. 4, 5 și 6):

1. Module program

PVMAN	— program monitor;
CONSIS	— definire configurație sistem și modelare componente;
ANSIM	— bloc general de calcul pentru dimensionare, analiză și simulare;
CONFS1...CONFS3	— bloc de calcul pentru simularea funcționării diferitelor configurații de sistem;
ANCOST	— analiză economică;
RADZI 1	— generare valori radiative și temperatură medii orare pe suprafața panourilor din mediile zilnice;
DENORA	— determinarea funcțiilor densitate de probabilitate a radiației orare;
DENSZI	— determinarea funcțiilor densitate de probabilitate a radiației zilnice;
PVPAR	— identificarea parametrilor celulelor (modulelor) fotovoltaice din datele experimentale;
CVFIT	— identificarea parametrilor modelului de baterie sau de consumator (tip $I = I(V)$ sau $V = V(I)$.

2. Fișiere de date

SISDAT	— date de configurație sistem și model componente;
LOCDAT	— date privind locația;
RADGEN	— date radiative generale;
TEMPER	— date de temperatură medie;
METSTA	— date meteorologice statistice;
SMED L	— statistică radiativă lunară;
METZI 1	— date meteorologice la nivelul modulelor pe intervalul de timp analizat (oră);
MGFDAT	— model generator fotovoltaic;
MODBAT	— model baterie de acumulatoare;
SISIST	— starea inițială a sistemului;
ECODAT	— date economice.

Bibliografie

[1] *Laugier, A., Roger I. A.* Les photopiles solaires du materiau au dispositif, du dispositif aux applications.

[2] *Rauschenbach, H. S.* Solar Cell Array Design Handbook, Van Nostrand 1980.

[3] *Wolfe, P. R.* System Sizing — Further Advances Towards the Definitive Solution — 6-th E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference, London, 1985.

[4] * * * Proiectarea asistată de calculator a sistemelor fotovoltaice de producere a energiei electrice prin conversie directă a energiei solare — ICPE 1985, 1986.

[5] *Duffie, I. A., Beckman, W. A.* Solar engineering of thermal processes — A. Willey Interscience Publication — 1982.

[6] *Siegel, M. D., Klein, S. A., Beckman, W. A.* A simplified method for estimating the monthly — average performance of photovolatic systems" Solar Energy, Vol. 26, p. 413—418, 1981.

[7] *Liu, B. Y. M., J., Jordan, R. C.* The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. În: Solar Energy, Vol. 4, no. 3, 1963.

[8] * * * — APOLLO, Solar water pumping computer program — ITP Ltd — 1984.

[9] *Green, M.* Solar cells, — A. Willey interscience Publication — 1981.

[10] *Popescu, C., Olariu, N.* — Modelarea electrică a sistemelor fotovoltaice, Sesiune ICPE 1985.

[11] *Klein, S. A.* et al. — TRNSYS A transient system simulation program. În: Proc. of PV—IEEE Conferance, 1982.

[12] *Olariu N., Popescu, O.* Modelarea bateriilor de acumulatoare din cadrul sistemelor fotovoltaice, Sesiune Eforie 1986.

[13] *Lambarski, T. J.* et al. PV—TAP A program for performing electrical and thermal analyses on photovolatic elements. În: Proc. of PV—IEEE Conferance 1980.

[14] *Bucciarelli, L. L. Jr.* Estimating of loss of power probabilities of stand-alone photovoltaic solar energy systems. În: Solar Energy 1986.

[15] *Klein, S. A., Beckman, W. A.* PV F—CHART User Manual — 1983.

C.Z. 621.47 :621.314.2 :621-3.037

ENERGIE SOLARĂ
CONVERSIE FOTOVOLTAICĂ
MAXIMIZATOR DE PUTERE

Creșterea eficienței sistemelor fotovoltaice prin transfer maxim de putere

IULIAN GHERĂSOIU, NICOLAE OLARIU*

Introducere

Utilizarea energiei solare, convertită direct în energie electrică, ca alternativă viabilă a surselor energetice convenționale, a dus, inevitabil, la reconsiderarea modului de proiectare și exploatare a sistemelor fotovoltaice.

Spre deosebire de majoritatea surselor de energie electrică, ieșirea unui generator fotovoltaic este definită de o caracteristică curent-tensiune (I—V) parametrică în raport cu intensitarea radiației solare și temperatura de funcționare (figura 1). Totodată, puterea instantanee furnizată sarcinii este dependentă și de poziția punctului de funcționare pe caracteristica (I—V).

Se poate aprecia, deci, că pentru un generator fotovoltaic, în anumite condiți

* Ing. Gherăsoiu, I., Olariu, N. — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) — București.

de solarizare și temperatură, există doar un singur tip de sarcină, a cărei impedanță permite suprapunerea *PF* peste *PPM*. În orice alt caz (aceleași condiții-altă sarcină, sau alte condiții-aceeași sarcină) punctul de funcționare al sistemului generator-sarcină va fi diferit de *PPM* [1, 2].

Rezultă, deci, că una din modalitățile de creștere a eficienței totale de conversie constă în asigurarea transferului maxim de putere de la sursa fotovoltaică către consumator, prin intercalarea între acestea a unui bloc numit Maximizator de Putere (*MP*).

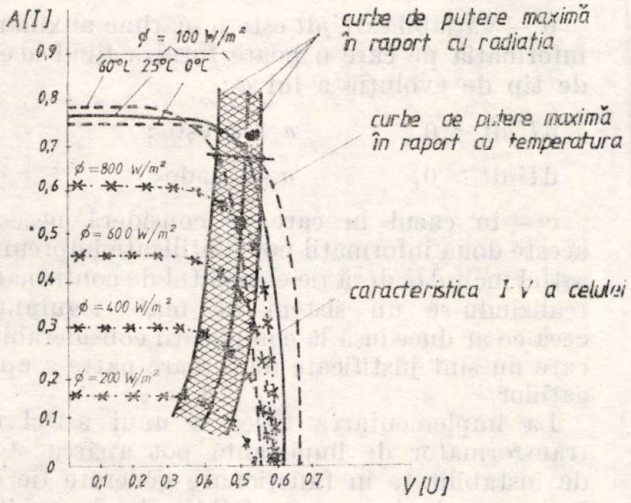


Fig. 1. Caracteristica parametrică (I—V) a unui generator fotovoltaic.

1. Principiul transferului maxim de putere

Maximizatorul de putere este un convertizor c.c.-c.c. cu factor de umplere variabil, care asigură adaptarea dinamică a impedanței echivalente la bornele generatorului fotovoltaic.

Considerînd acest convertor ca un cuadripol fără pierderi interne (fig. 2), transferul de putere între generator și consumator prin intermediul său (*MP*) se poate scrie ca :

$$P_{IN1} = P_{IN2}, \tag{1}$$

adică :

$$\frac{U_1^2}{Z_d} = \frac{U_2^2}{Z_s}, \tag{2}$$

și punînd în evidență relația în care se află tensiunile la borne, rezultă :

$$U_1 = \sqrt{\frac{Z_d}{Z_s}}\, U_2 = \frac{1}{a} U_2, \tag{3}$$

unde : Z_d este impedanța dinamică a generatorului ;

Z_s — impedanța sarcinii.

Deoarece U_2 este impusă de caracteristica de sarcină a consumatorului, asigurarea unei adaptări permanente a tensiunii U_1 la tensiunea corespunzătoare punctului de putere maximă (*PPM*) V_{PM} a generatorului necesită modificarea continuă a factorului de transfer a [4]. Această modificare se poate realiza prin modularea în frecvență sau în durată a undei de tensiune.

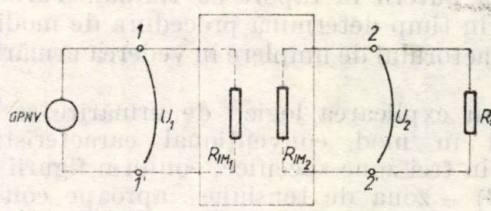


Fig. 2. Schema echivalentă tip cuadripol a maximizatorului de putere.

Pentru atingerea acestui scop au fost puse la punct diverse modalități de comandă. Un punct comun al tuturor acestor metode este faptul că toate au în vedere căutarea și apoi urmărirea *PPM*.

Metodele existente în prezent se pot împărți în două categorii : metode de control în buclă deschisă și metode de control în buclă închisă.

Operarea în buclă-deshisă se referă, în general, la utilizarea unui tabel-suport care conține punctele de putere maximă, corelate cu valori date ale solarizării și temperaturii, determinate teoretic. Utilizarea unor astfel de tabele-suport cît mai complete este accesibilă doar unităților de control bazate pe microprocesoare, ceea ce duce la folosirea lor doar în sisteme fotovoltaice mari, unde pot fi justificate din punct de vedere economic.

În cazul operării în buclă închisă se verifică, în fiecare moment, dacă puterea extrasă este maximă, aceasta făcînd posibilă reglarea nu numai în cazul variațiilor de solarizare și temperatură, dar și în cazul derivei punctului de putere maximă în timp, datorate proceselor de „îmbătrînire" sau acoperirii cu particule a panourilor [3].

Cîteva dintre cele mai cunoscute criterii ce stau la baza construcției unităților de control sînt : criteriul auto-oscilației, care utilizează semnele derivatelor tensiunii și puterii în raport cu timpul ; criteriul oscilațiilor forțate, care se bazează pe măsurarea pantei caracteristicii (*P—V*) a *GPHV* [3] ; criteriul elementului de referință, care utilizează o celulă PHV-pilot ; comanda cu pași constanți, relativi, de curent și tensiune [4] etc.

2. Implementarea Maximizatorului de putere utilizînd criteriul auto-oscilației

Utilizarea criteriului auto-oscilației pentru urmărirea PPM face necesară modificarea factorului de umplere a. Controlul acestui parametru se realizează printr-o buclă închisă de reglaj, prin care se urmărește și se măsoară tensiunea și curentul în circuitul generatorului fotovoltaic, determinîndu-se o mărime proporțională cu puterea. Această mărime este apoi introdusă într-un circuit de derivare la ieșirea căruia se va regăsi o tensiune proporțională cu derivata puterii în raport cu timpul. Variația puterii în timp determină procedura de modificare a factorului de umplere în vederea urmăririi PPM.

Pentru explicarea logicii de urmărire se va împărți în mod convențional caracteristica (I—V) în trei zone specifice, conform figurii 3 :

(1—2) — zona de tensiune aproape const ;
(2—3) — zona de putere aproape const ;
(3—4) — zona de crt. aproape const.

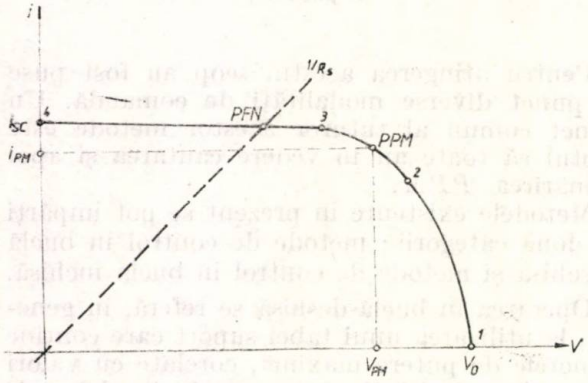


Fig. 3. Caracteristica (I—V) a $GPHV$ cuplat direct cu o sarcină R_s.

Considerînd inițierea funcționării din zona (1—2) în punctul 1, se impune o direcție de variație a factorului de umplere în sensul creșterii acestuia, sens corespunzător oricărei situații considerate.

Studiind tipul de comandă adoptat și evoluția factorului de umplere a, în funcție de semnele derivatelor $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ și $\mathrm{d}P/\mathrm{d}t$, rezultatele pot fi sintetizate în următorul tabel :

$\mathrm{d}U/\mathrm{d}t$	$\mathrm{d}P/\mathrm{d}t$	Stare*	Evoluția factorului de umplere a
< 0	> 0	1	crește
> 0	> 0	1	scade
< 0	< 0	0	crește
> 0	< 0	0	scade

* Semnificația stărilor este următoarea:
1 — validarea direcției de evoluție $S_{n+1} = S_n$
0 — schimbarea direcției de evoluție $S_{n+1} = \bar{S}_n$.

Trebuie subliniat faptul că prezintă interes momentul în care este necesară schimbarea direcției de evoluție, caracterizat prin două stări distincte și mai puțin tipul evoluției, aceasta putînd fi complet definită prin cunoașterea sensului inițial (inițializare) și știind că apoi cele două tipuri sînt alternative.

Cu ajutorul acestui tabel pot fi evidențiate următoarele concluzii :

a — variabila al cărei semn este determinant pentru comanda de evoluție este $\mathrm{d}P/\mathrm{d}t$, aceasta trebuind să fie principala mărime prelucrată într-un convertor ;

b — variabila $\mathrm{d}U/\mathrm{d}t$ este o mărime auxiliară, informația pe care o poate furniza fiind aceea de tip de evoluție a lui a :

$\mathrm{d}U/\mathrm{d}t < 0$, a — crește ;

$\mathrm{d}U/\mathrm{d}t > 0$, a — scade ;

c — în cazul în care se consideră necesar aceste două informații pot fi utilizate împreună, astfel încît $\mathrm{d}U/\mathrm{d}t$ să fie elementul de confirmare, realizîndu-se un sistem de mare siguranță, ceea ce ar duce însă la complicații considerabile, care nu sînt justificate de o mare parte a aplicațiilor.

La implementarea fizică a unui astfel de transformator de impedanță pot apărea stări de instabilitate în funcționare generate fie de frecvența de baleere a PPM, fie de poziția relativă a punctului de funcționare (PF) în raport cu PPM.

Astfel, cînd se utilizează frecvențe de choppare foarte mari, pasul de tensiune și, deci, de putere, poate deveni atît de mic încît cantitatea $\Delta U(P)$, chiar amplificată, nu mai atinge nivelul tensiunii de referință a comparatorului a. i. la ieșirea acestuia nu se va mai regăsi un impuls de basculare. În această situație PF își continuă evoluția pînă în PFN sau pînă la una din extremele caracteristicii (I—V), unde se stabilizează.

Principalul mod de evitare a acestei situații constă în alegerea corespunzătoare a frecvenței de choppare, astfel încît pendularea PF în jurul PPM să producă o variație ΔP suficient de mare pentru a genera un impuls de basculare. Acest neajuns poate fi compensat și prin conceperea unui sistem-generator de tensiune de referință, proporțională cu nivelul lui ΔP a.i. comparatorul să poată acționa pentru orice nivel.

Referitor la poziția relativă PF în raport cu PPM, se pot evidenția trei astfel de posibilități de situare, fiecare cu evoluția sa, considerînd faptul că pendularea PF se face între două poziții situate în imediata apropiere a PPM. Cele trei posibilități sînt determinate de localizarea PPM în cadrul intervalului determinat de cele două poziții pe care le poate ocupa PF în vecinătatea sa.

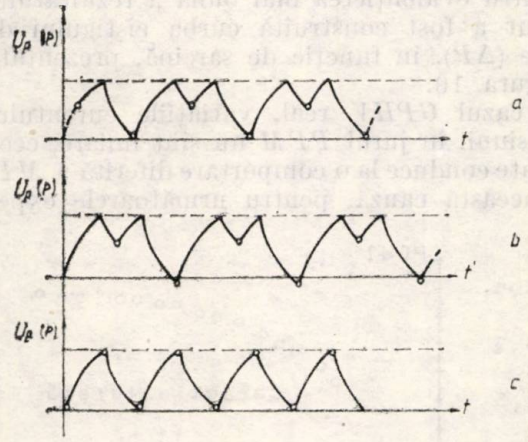


Fig. 4. Poziția relativă a *PF* în raport cu *PPM*.

O primă situație este cea corespunzătoare figurii 4, în care PPM se situează în prima treime a intervalului. Se poate observa că trecerile peste PPM se produc cu o frecvență f egală cu cea de choppare.

A doua situație este aceea în care PPM este plasat în ultima treime a intervalului figurii 4 *b*, observîndu-se, de asemenea, că trecerile peste PPM se produc cu o frecvență egală cu cea de choppare.

O situație deosebită apare în cel de al treilea caz și atunci cînd PPM se situează la mijlocul intervalului respectiv, figura 4c. În acest caz, frecvența de trecere peste PPM este de două ori mai mică decît cea de choppare.

Ținînd seama de faptul că sistemul se autoreglează în bucla închisă, se poate ajunge la o amplificare insuficientă a semnalului, neatingîndu-se nivelul de referință și lipsind deci impulsul necesar basculării.

Soluția situației poate fi identică cu una din cele de mai sus, dar este mai probabil ca această variantă de poziționare să nu apară în realitate și deci funcționarea să rămînă nealterată.

În afară de cazurile de nesiguranță, datorate unor condiționări de ordin intern, este important de subliniat faptul că o instabilitate puternică în funcționare poate fi introdusă de factori externi, cum sînt perturbații în tensiunea de alimentare sau perturbații electromagnetice de frecvență apropiată frecvențelor centrale ale dispozitivelor de amplificare, care pot duce la mascarea completă a semnalului util și deci la funcționare total necorespunzătoare.

Aceste situații trebuie înlăturate prin prevederea de măsuri eficiente de ordin constructiv.

Condiția pentru urmărirea evoluției puterii la bornele GPHV este aceea de obținere a unei mărimi continuu proporționale cu aceasta. Avînd în vedere condiția anterioară, a fost elaborată o schemă-bloc (prezentată în figura 5), ce va fi descrisă în cele ce urmează.

Pentru obținerea unei astfel de mărimi este necesară utilizarea unui bloc de multiplicare care să realizeze produsul între două semnale proporționale la rîndul lor cu tensiunea și curentul la bornele generatorului [5].

Semnalul introdus în circuitul de derivare este axat față de zero și amplificat pînă la un nivel convenabil [6]. Frecvența centrală a blocului de derivare este de 4,4 kHz pentru care s-a obținut o amplificare $A = 500 - 600$.

În continuare lanțul conține un circuit inversor integrat, cu factor de amplificare unitar.

Semnalul astfel prelucrat este introdus într-un comparator ce furnizează impulsuri dreptunghiulare, ori de cîte ori PF trece prin PPM. Acestea sînt trimise unui divizor de frecvență ce creează paliere de tensiune cu durată egală

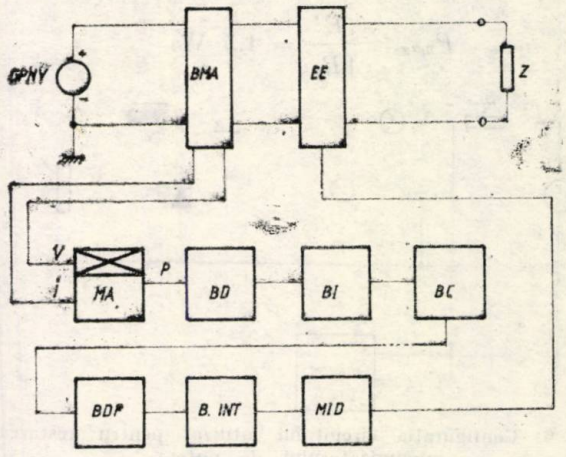


Fig. 5. Schema-bloc a maximizatorului de putere: *BMA* — bloc de măsură și adaptare; *MA* — multiplicator analogic; *BD* — bloc de derivare; *BI* — bloc inversor; *BC* — bloc comparator; *BDF* — bloc divizor de frecvență; B_{INT} — bloc integrator; *MID* — modulator de impulsuri în durată; *EE* — element de execuție.

cu cea necesară deplasării PF dintr-o parte în cealaltă a PPM.

Palierele sînt transformate în rampe de tensiune prin intermediul unui bloc integrator, acestea reprezentînd semnalul de modulare a unui bloc modulator de impulsuri în durată. Impulsurile modulate sînt aplicate elementului de execuție.

3. Experimentări ale maximizatorului de putere unidirecțional

Pentru verificarea funcționării modelului experimental s-a realizat un circuit generator-convertor-sarcină, a cărui comportare aproximează comportarea unui sistem fotovoltaic real. Configurația acestui circuit este prezentată în figura 6. Aproximațiile în privința comportării sînt datorate, în special, modului în care este simulată caracteristica (I—V) a generatorului fotovoltaic.

Din acest punct de vedere caracteristica (I—V) a *GPHV* a fost aproximată prin utili-

zarea unui generator de tensiune constantă în serie cu o rezistență R_L al cărei scop este acela de limitare a curentului furnizat la o valoare prescrisă. Caracteristica (I—V) astfel obținută este trasată în figura 7. Panta caracteristicii este determinată de valoarea rezistenței R_L.

Valorile alese pentru parametrii generatorului sînt $E = 30$ V și $I_{sc} = 600$ mA. În aceste condiții pentru R_L rezultă valoarea:

$$R_L = \frac{E}{I_{sc}} = 50\ \Omega.$$

Puterea maximă va fi furnizată de generator avînd în vedere cuplarea directă pe sarcină — atunci cînd valoarea rezistenței sarcinii va fi egală cu cea a generatorului:

$$P_{max} = \frac{E^2}{4R_L} = 4{,}5\ \text{W}.$$

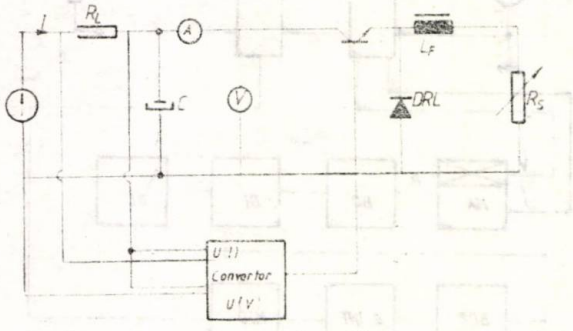


Fig. 6. Configurația circuitului utilizat pentru testarea maximizatorului de putere.

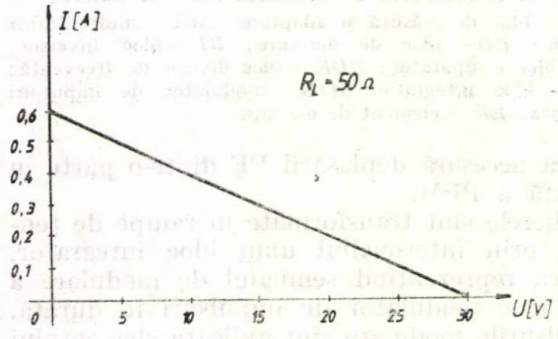


Fig. 7. Caracteristica (I—V) a generatorului echivalent.

Acestei puteri maxime îi corespunde o tensiune:

$$U_m = P_{max} R_L = 15\ \text{V}$$

și un curent:

$$I_m = \frac{P_{max}}{U_m} = 0{,}3\ \text{A}.$$

În aceste condiții a fost ridicată caracteristica $P = f(R)$ a generatorului cuplat direct cu sarcina, figura 8, și aceeași caracteristică, dar pentru cazul cuplării prin intermediul convertorului, prezentată în figura 9.

Pentru evidențierea mai bună a rezultatului obținut a fost construită curba cîștigului de putere (ΔP), în funcție de sarcină, prezentată în figura 10.

În cazul *GPHV* real, variațiile curentului și tensiunii în jurul *PPM* nu sînt liniare, ceea ce poate conduce la o comportare diferită a *MP*. Din această cauză, pentru următoarele expe-

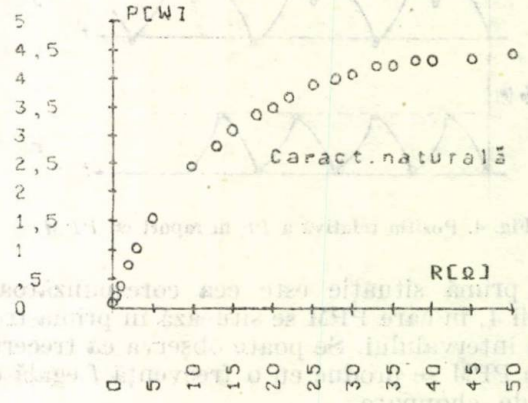


Fig. 8. Caracteristica $P = f(R)$ a generatorului echivalent cuplat direct cu sarcina.

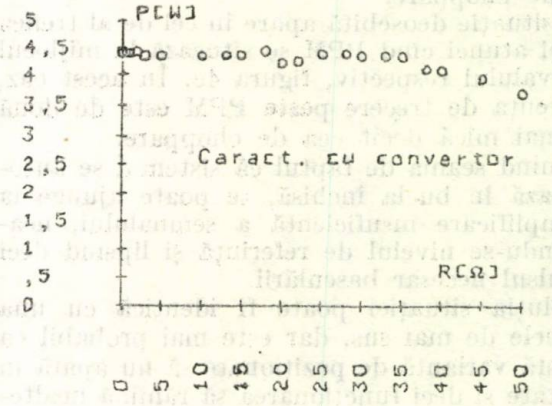


Fig. 9. Caracteristica $P = f(R)$ pentru cazul cuplării prin intermediul convertorului.

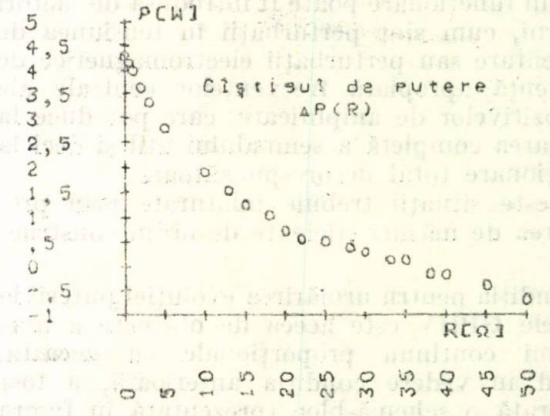


Fig. 10. Curba cîștigului de putere $\Delta P = f(R)$.

rimentări s-a prevăzut o simulare mai apropiată de realitate a caracteristicii (I—V) a *GPHV*. Principial, simularea caracteristicii I—V a *GPHV* se obține prin adăugarea la generatorul echivalent anterior a unei diode Zenner cu o tensiune de prag aleasă corespunzător (15—18 V) și montată paralel la bornele acestuia. Datorită caracteristicii (I—V) neliniare a acesteia se obține o caracteristică (I—V) a noului generator echivalent, de asemenea, neliniară, apropiată ca alură de cea a *GPHV* și prezentată în figura 11.

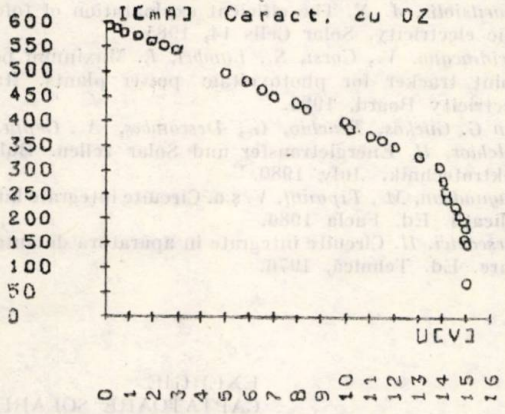


Fig. 11. Caracteristica (I—V) îmbunătățită a generatorului echivalent.

4. Extinderea principiului adaptării dinamice la sisteme bidirecționale

În cadrul acestei extinderi apare noțiunea de Sistem de Adaptare Dinamică Bidirecțional, prin care se înțelege un sistem capabil de a efectua adaptarea, indiferent de impedanța proprie a sarcinii, deci pentru care situarea *PFN* la dreapta sau la stînga PPM să fie indiferentă.

Principala condiție pentru existența unui astfel de sistem este ca el să poată urmări *PF* al *GPHV* între extremele caracteristicii (I—V), adică între situația de „scurt" ($V_G = 0$) și „gol" ($I_G = 0$).

Avînd în vedere această condiție, configurația posibilă ar fi aceea de tip mixt, cu comandă condiționată, care este prezentată simplificat în figura 12.

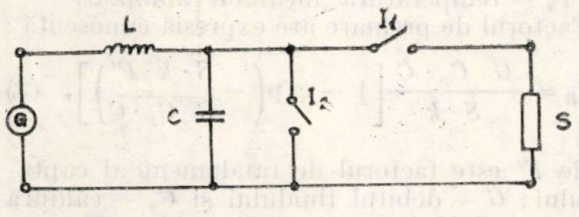


Fig. 12. Schema simplificată a *MP* tip bidirecțional.

Se poate constata că, prin închiderea și deschiderea comutatoarelor *1* și *2* după o lege specifică, *PF* poate fi deplasat pe întreaga caracteristică (I—V), obținîndu-se astfel un sistem bidirecțional.

Se va nota cu *1* sistemul coborît de tensiune-element serie, iar cu *2*-sistemul ridicător de tensiune-element paralel. Ambele sisteme se presupun deconectate la momentul inițial, deci *GPHV* se află în „gol" (U_0).

Pentru a obține o informație despre situarea *PF* față de *PPM* se comandă inițial I_1.

Dacă se detectează o trecere prin *PPM* se validează în continuare funcționarea cu I_1. În caz contrar, se trece la funcționarea cu I_2. De asemenea, în cazul în care la funcționarea cu I_2 nu se detectează o trecere prin *PPM*, se comandă funcționarea cu I_1.

Nesiguranța în funcționare poate fi introdusă doar în cazul cînd *PFN* corespunde *PPM*, situație în care însă funcționarea sistemului nu mai este necesară.

Momentul în care trebuie făcută comutarea de pe un sistem pe celălalt este semnalizat prin lipsa trecerii prin *PPM*, deci, în final, prin încetarea trenului de impulsuri provenite de la comparator odată cu stabilizarea în *PFN*.

Această situație poate fi sesizată prin intermediul unui Detector de Lipsă de Impuls (*DLI*), la care durata pentru care se comandă bascularea ieșirii prin lipsa impulsului trebuie să fie :

$$t_{DLI} \gg \tau,$$

adică numai o lipsă a impulsului cu mult mai mare decît pauza maximă dintre impulsuri, să determine bascularea circuitului. Schema-bloc a sistemului dibirecțional implică, în acest fel, transformări minime față de tipul unidirecțional, secțiunea modificată avînd configurația din figura 13.

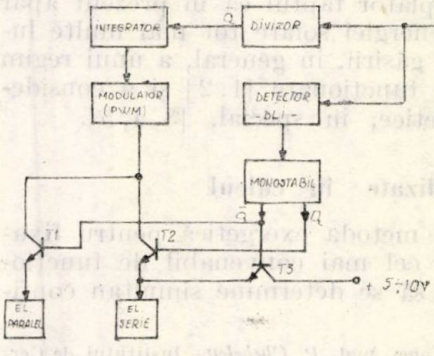


Fig. 13. Parte a schemei *MP* bidirecțional conținînd blocul *DLI*.

5. Concluzii

Pentru realizarea maximizării a fost ales principiul Modificării și Derivării Puterii, numit și principiul Auto-Oscilației, datorită unui număr de avantaje pe care le oferă și anume: implementare relativ simplă, număr redus de componente, toate realizate în prezent în țară.

Pentru primul model experimental, elementul de choppare a fost ales de tip „serie", considerîndu-se că impedanța sarcinii utilizată este de valoare mică, deci *PFN* se situează la stînga PPM pe caracteristica (I—V).

Atunci cînd se prevede eliminarea unor sarcini a căror impedanță este cuprinsă într-o gamă largă de valori sau în cazul în care impedanța sarcinii este variabilă în timp a.î, se produce trecerea PFN peste PPM, este necesară utilizarea unui sistem de tip bidirecțional.

Prin măsurătorile comparative realizate a rezultat că utilizarea sistemului de maximizare duce la un cîștig energetic de minim 17 % față de cazul cuplării directe, avînd în vedere condiții climatice medii.

Analiza asupra eficienței sistemului a indicat faptul că utilizarea sa este justificată — ținînd seama de consumul propriu de energie — pentru generatoare fotovoltaice cu puteri mai mari de 100 W a.î. eficiența transferului să depășească 95 %.

Bibliografie

[1] *Laugier A., Roger, J. A.* Les photopiles solaires du materiau au dispositif, du dispositif aux applications, 1981.
[2] *Avaritsiotis, J. N.* The efficient exploatation of fofovoltaic electricity, Solar Cells 14, 1985.
[3] *Arcidiacano, V., Corsi, S., Lambri, L.* Maximum power point tracker for photovoltaic power plants. Italian Electricity Board, 1982.
[4] *Van G. Guekos, Tenchio, G., Descombes, A., Ceppi, P., Melchior, H.* Energietransfer und Solar zellen. Bulletin Elektrotechnik, July 1980.
[5] *Ciuguadean, M., Tiponuț, V.* ș.a. Circuite integrate liniare. Aplicații. Ed. Facla 1986.
[6] *Herscovici, H.* Circuite integrate în aparatura de automatizare. Ed. Tehnică, 1976.

CZ 621.3.047 : 620.91

EXERGIE
CAPTATOARE SOLARE
SURSE NOI DE ENERGIE

Utilizarea metodei energetice la dimensionarea cîmpurilor de captatoare solare

EUGENIU TOMA, PETRU CHEBELEU* — BUCUREȘTI

Introducere

Obținerea unui criteriu de optimizare în dimensionarea instalațiilor energetice solare a apărut utilă odată cu necesitatea estimării economice a performanței acestora. O instalație energetică trebuie să aibă, conform principiului al doilea al termodinamicii, un anumit nivel de temperatură la care ea funcționează cu maximum de eficiență. În acest sens, o mărime termodinamică utilă este energia și nu este întîmplător faptul că în prezent apar în domeniul energiei solare tot mai multe lucrări pe tema găsirii, în general, a unui regim convenabil de funcționare [1, 2] și a considerațiilor exergetice, în special, [3, 4, 5].

Relații utilizate în calcul

S-a utilizat metoda exergetică pentru fixarea regimului cel mai convenabil de funcționare, căutînd să se determine simultan configurația cîmpului de captare prin obținerea lungimii optime a unui șir de captatoare montate în serie. Se recapitulează mai jos relațiile utilizate, care au un caracter general, deși au fost folosite pentru captatoare cu concentrare.

Energia Q, produsă de un captator de arie S, este:

$$Q = S \cdot F_R \left[\eta_0 I - \frac{k}{C} (T_i - T_a) \right], \quad (1)$$

unde: F_R este factorul de preluare a captatorului; η_0 — randamentul optic, incluzînd cosinusul unghiului de incidență; I — puterea radiației solare directe: k — coeficientul total de pierderi termice; C — raportul de concentrare; T_i — temperatura de intrare a fluidului și T_a — temperatura mediului ambiant.

Factorul de preluare are expresia cunoscută:

$$F_R = \frac{G \cdot C_p \cdot C}{S \cdot k} \left[1 - \exp\left(- \frac{S \cdot k \cdot F'}{G \cdot C_p \cdot C} \right) \right], \quad (2)$$

unde F' este factorul de randament al captatorului; G — debitul fluidului și C_p — căldura masică a fluidului la presiune constantă.

* Dr. fiz. *E. Toma*, mat. *P. Chebeleu* — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) — București.

Dacă se notează paranteza pătrată din (2) cu A și se introduce temperatura de stagnare :

$$T_s = \frac{\eta_0 \cdot T \cdot C}{k} + T_a, \tag{3}$$

atunci temperatura de ieșire a fluidului din captator T_e se poate scrie :

$$T_e = (T_s - T_i)A + T_i. \tag{4}$$

Utilizînd expresia (4) în calculul variației temperaturii fluidului în lungul șirului de captatoare, se consideră temperatura de ieșire dintr-un captator egală cu cea de intrare în captatorul următor. Coeficientul de pierderi termice k se calculează prin formulele binecunoscute. Pentru valori date ale puterii radiației I, debitului G și temperaturii de intrare T_i, exergia produsă de un captator are expresia :

$$E = Q - G \cdot C_p \cdot T_a \ln(1 + Q/G \cdot C_p \cdot T_i). \tag{5}$$

În expresia exergiei maxime posibile E_M la debitul G se va utiliza [4] temperatura optimă de intrare T_{i0} :

$$T_{i0} = T_s (\exp B) (\sqrt{A^2 + 4 T_a \exp(-B)/T_s} - A)/2, \tag{6}$$

unde $B = SkF'/GC_pC$ din(2).

Exergia maximă la un debit dat, potrivit formulelor generale, este :

$$E_M = (F'/F_R)Q_0(1 - T_a/T_{i0}), \tag{7}$$

unde Q_0 este Q din (1), în care $T_i = T_{i0}$ din (6). S-a denumit *eficacitate exergetică* a unui captator raportul :

$$\eta_e = E/E_M, \tag{8}$$

mărime ce diferă într-o măsură foarte redusă de *randamentul exergetic* definit în literatură [4], unde E_M este calculat pentru un debit infinit.

Întrucît valoarea coeficientului de pierderi termice k crește cu fiecare captator adăugat la șir, mărimile E și E_M trebuie calculate pentru fiecare captator, urmînd să se definească eficacitatea exergetică a șirului η_E ca raportul sumelor acestor mărimi pe tot șirul :

$$\eta_E = \sum_{i=1}^{N} (E)_i / \sum_{i=1}^{N} (E_M)_i, \tag{9}$$

unde N este numărul captatoarelor solare ale șirului.

Randamentul termic η_T al șirului de captatoare este :

$$\eta_T = \sum_{i=1}^{N} (Q)_i / N \cdot S \cdot I. \tag{10}$$

Să se observe că :

$$\eta_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (\eta_T)_i,$$

însă :

$$\eta_E \neq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (\eta_E)_i.$$

Rezultate numerice

Pentru ilustrarea metodei s-au folosit parametrii captatorului cilindro-parabolic *CSC*-2, de concentrare medie $C = 24$, avînd valorile $\eta_0 = 0{,}52$, $F' = 0{,}9$, $S = 6$ și coeficientul de emisivitate $\varepsilon_0 = 0{,}88$. În exemplele de calcul de mai jos s-a luat, peste tot, $I = 600$ W/m²; $T_a = 298$ K; $G = 600$ kg/h.

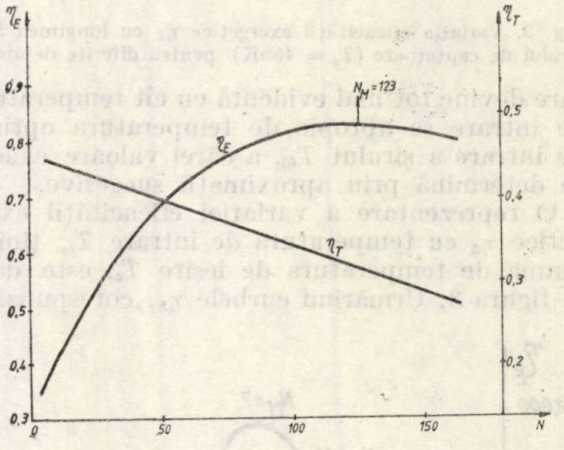


Fig. 1. Variația eficacității exergetice η_E și a randamentului termic η_T cu lungimea N a șirului de captatoare (T_i = 328 K).

Primul test efectuat a urmărit stabilirea comportării mărimilor exergetice în lungul unui șir de captatoare înseriate. Figura 1 ilustrează variația eficacității exergetice η_E în funcție de lungimea șirului exprimată în număr de captatoare N, comparativ cu variația randamentului termic η_T. Se observă scăderea liniară a lui η_T în tot lungul șirului, ceea ce nu permite alegerea unei lungimi optime a șirului și, totodată, apariția unui maxim al lui η_E la o anumită lungime a șirului, ceea ce sugerează posibilitatea de a o denumi lungime optimă, din punct de vedere exergetic. Numărul corespunzător de captatoare a fost notat pe figura 1 cu N_M. Această alură a lui η_E este interesantă deoarece

indică o anumită zonă de utilizare a şirului, dincolo de care captatoarele adăugate la şir nu fac decît să scadă producţia de exergie.

Temperatura de intrare, în figura 1, este relativ s căzută ($T = 328$ K) şi de aceea maximul lui η_E apare la o ungime mare a şirului. Pentru a obţine şiruri mai scurte, temperatura de intrare trebuie să fie mai ridicată. În figura 2, temperatura de intrare este $T_i = 458$ K şi se prezintă variaţia eficacităţii exergetice η_E în funcţie de lungimea şirului N, pentru trei debite diferite. Poziţia maximului lui η_E nu variază cu debitul, dar lungimile optime ale şirului cresc liniar cu debitul. Această compor-

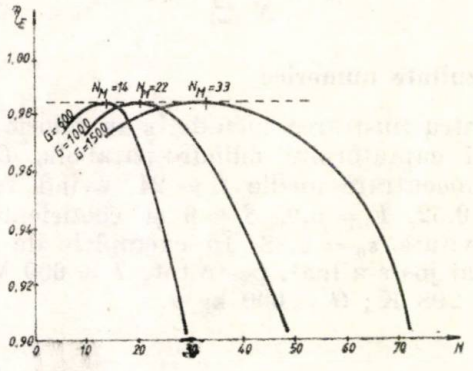


Fig. 2. Variaţia eficacităţii exergetice η_E cu lungimea N a şirului de captatoare ($T_i = 458$K) pentru diferite debite G.

tare devine tot mai evidentă cu cît temperatura de intrare se apropie de temperatura optimă de intrare a şirului T_{i0}, a cărei valoare exactă se determină prin aproximaţii succesive.

O reprezentare a variaţiei eficacităţii exergetice η_E cu temperatura de intrare T_i, ţinînd seama de temperatura de ieşire T_e, este dată în figura 3. Urmărind curbele η_E, corespunzînd

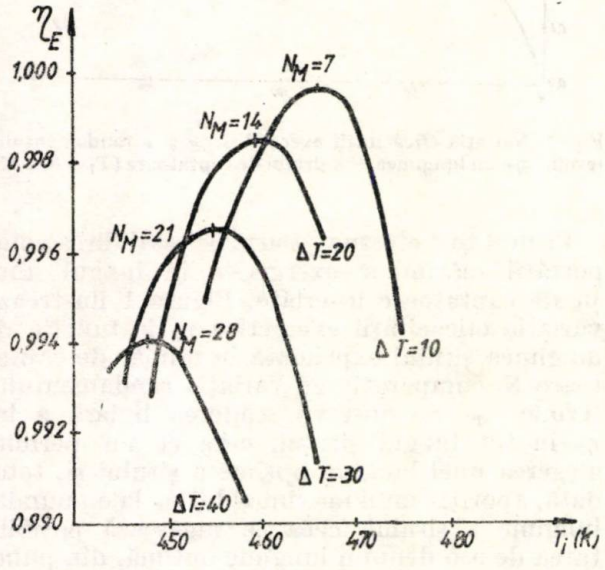


Fig. 3. Variaţia eficacităţii exergetice η_E în funcţie de temperatura de intrare T_i pentru diferite ecarturi de temperatură ΔT.

cîtorva ecarturi date de temperatură $\Delta T = T_e - T_i$, se observă, pentru fiecare din ele, un maxim ce corespunde lungimii optime a şirului de captatoare, N_M, aceste lungimi fiind direct proporţionale cu valorile ΔT. De remarcat că, valorile randamentului termic, corespunzînd punctelor N_M în intervalul de temperaturi T_i considerat, sînt practic constante ($\eta_T = 0{,}29$), ceea ce lasă liberă alegerea după criteriul exergetic. Apare posibilitatea determinării temperaturii optime de intrare T_i şi a numărului corespunzător de captatoare N_M, la un ecart dat ΔT. Astfel, pentru $\Delta T = 30$, instalaţia funcţionează optim la $T_i = 455$ K, cu un şir de $N_M = 21$ captatoare şi, bineînţeles, $T_e = 485$ K, în condiţiile specificate ($I = 600$ W/m², $G = 600$ kg/h, $T_a = 298$ K).

Pentru a demonstra existenţa unei temperaturi optime de intrare în şirul de captatoare s-au reprezentat în figura 4 numai *valorile maxime* ale η_E. Se prezintă variaţia lungimii optime a şirului N_M (corespunzătoare eficacităţii exergetice maxime η_{EM}) cu temperatura de intrare T_i; pe aceeaşi figură se reprezintă şi ecartul $(\Delta T)_M$ corespunzător valorilor η_{EM}. Totodată, s-a înscris curba valorilor η_{EM}, care atinge un maxim absolut ($= 1$) la $T_{i0} \simeq 469$ K, cînd N_M şi $(\Delta T)_M$ ating, de asemenea, un minim absolut ($= 1$). La temperaturi mai mari decît T_{i0}, η_{EM} scade, dar valorile N şi ΔT rămîn nesemnificativ de mici. Existenţa unei tempera-

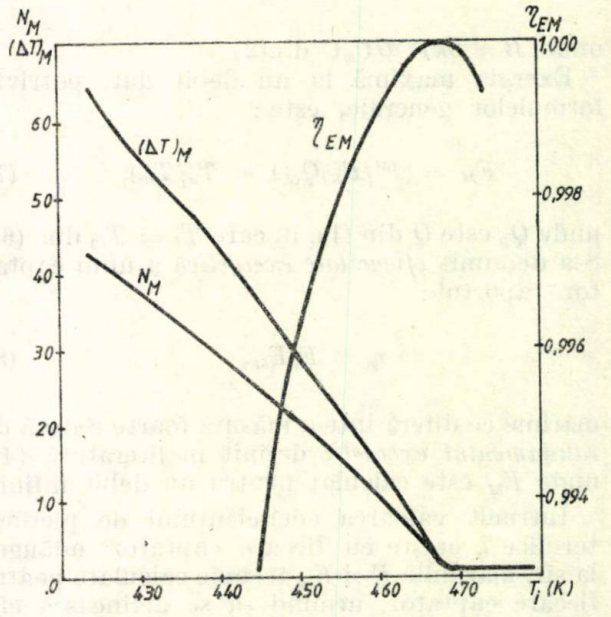


Fig. 4. Variaţia lungimii optime N_M a şirului de captatoare a ecartului de temperatură corespunzător $(\Delta T)_M$ şi a eficacităţii exergetice maxime η_{EM} în funcţie de temperatura de intrare T_i.

turi de intrare optime (sau de ieşire) este cunoscută în literatură [4, 5], dar calculul efectuat demonstrează nu numai posibilitatea de alegere a domeniului de temperaturi, ci şi pe cea a

dimensionării simultane a configurației instalației solare.

Concluzii

În general, o instalație solară funcționează cu o temperatură de ieșire T_e și un debit de fluid G impuse de beneficiar. Aceste valori pot fi menținute, căutîndu-se totodată optimizarea funcționării instalației în condițiile reale de amplasare. Din figura 3 reiese că *maximul η_E se produce întotdeauna cînd temperatura de intrare T_i a fluidului este mai mică decît temperatura de intrare optimă T_{i0}*, iar temperatura de ieșire T_e depășește temperatura de intrare optimă, adică trebuie ca $T_i < T_{i0} < T_e$. Un consumator real nu va alege, de exemplu, soluția $\Delta T = 10$, $T_i = 466$ K și $N = 7$, ci va fi interesat de ecarturi ΔT mai mari. În principiu, pentru *orice* temperatură de intrare T_i există un η_E maxim care indică un anumit ecart optim ΔT (adică un anumit N convenabil pentru valoarea T_i sau, respectiv T_e aleasă). Calculele arată că la un ΔT, impus, pentru a se menține optimul exergetic, trebuie să se respecte un raport aproximativ $(T_e - T_{i0})/(T_{i0} - T_i) \simeq 1/3$. Valorile exacte sînt calculabile printr-un program de calculator, dar pentru scopuri practice valoarea T_{i0} poate fi luată cea din cazul debitului infinit, cînd $T_{i0} = T_s \cdot T_a$, iar în T_s din relația (3) să se ia o valoare a coeficientului de pierderi termice k cel puțin egală cu valoarea k maximă înregistrată la capătul șirului.

Avînd în vedere variația puterii radiației solare I și a temperaturii mediului ambiant T_a în cursul zilei, determinarea optimului de funcționare a unei instalații impune însă un „compromis" [4] între eficacitatea exergetică η_E, randamentul termic η_T și debitul de fluid G. În acest caz, se obține pe o perioadă anumită, o valoare medie optimă pentru lungimea șirului de captatoare N, la un debit G optimizat, totul depinzînd de nivelele de temperatură impuse de consumator.

Bibliografie

[1] *Moraru, D., Toma, E., Chebeleu, P.* Aspecte economice ale utilizării captatoarelor solare de diferite tipuri. În: Energetica nr. 1, 1986 p. 356.

[2] *Francken, J. C.* On the effectiveness o fa flatplate collector. În: Solar Energy, **33**, no. 3/4, 1984, p. 363.

[3] *Bejan, A., Kearney, D. W., Kreith, F.* Second law analysis and synthesis of solar collector systems. J. Solar Energy Engineering, **103** febr. 1981, p. 23.

[4] *Kerim Kar, A.* Exergy efficiency and optimum operation of solar collectors. În: Appl. Energy, **21**, 1985, p. 301.

[5] *Manfrida, G.* The choice of an optimal working point for solar collectors. Solar Energy, **34**, nr.6, 1985, p. 513.

CZ 621.565 :621 .314

FRIGOTEHNICĂ
SURSE DE ENERGIE

Gheţărie-frigorifer care utilizează energii neconvenţionale. Reconsiderarea unor probleme de tehnologie şi utilizare a frigului

HORIA BARBU, RODICA CRISTEA, ANTONEL BUCUR* — BUCUREŞTI

Introducere

Criza energetică mondială impune cu o acuitate din ce în ce mai mare economisirea maximă posibilă a resurselor energetice disponibile şi utilizarea în domenii din ce în ce mai numeroase şi cu o pondere crescătoare a energiilor neconvenţionale şi reînnoibile.

Din cele mai vechi timpuri utilizarea frigului a constituit o necesitate a existenţei şi bunăstării omului. Dezvoltarea societăţii şi civilizaţiilor a amplificat continuu această necesitate. Apariţia societăţii industriale a fost însoţită de apariţia frigului artificial industrial.

În societatea modernă nici nu pot fi concepute menţinerea nivelului social-economic al vieţii şi dezvoltarea tehnică şi ştiinţifică fără utilizarea frigului, ceea ce a condus la ponderea covîrşitoare a utilizării frigului artificial.

Tehnicile frigorifice (diversificate, specializate şi uneori sofisticate) vizînd temperaturi ce tind spre zero absolut, au depăşit de mult graniţele domeniilor tradiţionale (industria alimentară, chimică, climatizările), fără ele fiind imposibil progresul în tehnologiile moderne şi de vîrf (în astronautică, lasere, microelectronică, medicină, metalurgie etc. [1, 2, 3, 4, 5 şi 6]).

Cu toate acestea ponderea utilizărilor (şi a consumurilor energetice pentru producere) revi-

* Cercetători — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — Bucureşti.

ne frigului artificial între 10°C și — 20°C [2, 3, 4, 7 și 8].

În acest domeniu de temperaturi, condițiile de asigurare a cerințelor consumatorilor de frig sînt foarte diverse datorită scopului utilizării, condițiilor meteorologice, țării și locului de amplasare, tradițiilor și echipamentelor disponibile, debitelor frigorifice solicitate etc.

Literatura de specialitate indică două categorii de rezolvări a acestor condiții foarte variate :

— utilizarea frigului artificial ;

— utilizarea gheții naturale (în zonele în care temperaturile în sezonul rece sînt corespunzătoare cel puțin pentru 60 ÷ 70 zile 9).

În literatura studiată nu sînt furnizate date privind utilizarea combinată a acestor două soluții.

Deși asigurarea necesarului de frig a unui anumit consumator este o problemă concretă, a cărei rezolvare nu poate fi aplicată decît la probleme cu aceleași date, prezentăm în continuare o metodă de îmbinare a tehnicilor frigorifice, adaptabilă la o paletă largă de situații.

Această metodă este rodul unor cercetări teoretice și experimentale privind utilizarea energiilor neconvenționale la producerea frigului în domeniul de temperaturi sus-indicat.

Soluția prezentată îmbină și amplifică avantajele unor tehnici de producere a frigului artificial, produs cu energii neconvenționale și complementar—ca măsură de siguranță—convențional, cu cele de utilizare a gheții naturale și cu raționalizări și optimizări ale fluxurilor tehnologice.

1. Domeniul de aplicare

Metoda și tehnologiile adecvate sînt prezentate pentru depozitarea de produse alimentare sau la asigurarea gheții necesare transportului acestora, dar pot fi adaptate și la alte produse sau scopuri (climatizări, de exemplu).

Este de menționat faptul că, simultan cu atingerea scopului (producerea frigului și asigurarea calității produselor), se poate livra și apă caldă menajeră (eventual tehnologică) la consumatorii din zona amplasamentului depozitului.

Deoarece pentru atingerea scopului instalațiile trebuie dimensionate conform datelor concrete de temă, metoda și soluțiile constructive constituie proiecte directoare. Instalațiile urmează să fie realizate din componente modulate și dimensionate astfel încît să permită acoperirea necesarului de frig.

Această rezolvare este aplicabilă oriunde este posibilă conversia energiei solare și a vîntului, obținîndu-se însemnate economii de energie.

2. Deficiențele utilizării gheții naturale

Principalele metode de obținere a gheții naturale [9] sînt :

— înghețarea apei în straturi pe platforme orizontale ;

— tăierea sau spargerea unor bucăți mari de gheață din rîuri sau lacuri ;

— formarea de țurțuri de gheață pe turnuri de răcire.

Tehnologia utilizării gheții astfel obținută prevede depozitarea ei în anotimpul rece în ghețării și folosirea în anotimpurile călduroase (cu transportare la consumatori).

Deficiențele utilizării gheții sînt numeroase, fiind uneori eliminatorii :

— nu poate fi colectată și depozitată decît în locurile în care temperatura aerului coboară sub — 10°C, timp de cel puțin două luni pe an, și sînt disponibile surse de apă naturală sau industrială [7] ;

— gheața necesită un timp foarte mare pentru formare, transport și depozitare ;

— necesită un consum mare de forță de muncă necalificată ;

— necesită un consum de combustibil pentru colectare, transport și depozitare (prin mecanizare) ;

— gheața prezintă riscul murdăririi și poluării datorită mediului ambiant ;

— înregistrează pierderi masice foarte mari, în special la livrare și utilizare, dar și la colectare și transport.

Pierderile sînt cu atît mai mari cu cît vara este mai călduroasă și vîntul mai puternic.

Pierderile de frig însumate au o valoare apreciabilă, conform [9], pînă la 30%, care însă nu pot fi generalizate, fiind diferite mult de la caz la caz (amplasare, domeniu de utilizare : pește, alimente, fructe). Cu toate acestea, în condițiile țării noastre sînt foarte numeroase cazurile în care, în lunile iulie și august, ghețăriile devin inutilizabile (datorită terminării cantității de gheață) producînd mari pierderi economice.

3. Deficiențele utilizării frigului artificial produs cu energii clasice

Pentru funcționare, instalațiile frigorifice clasice utilizează două tipuri de energie [1, 2, 3] :

— electrică (curent alternativ) ;

— termică (abur, apă caldă cu temperaturi peste 130°C).

Cele mai importante deficiențe conform [2, 7, 8, 9, 10, 11 și 12] sînt :

— fiind mașini termice consumurile energetice specifice ale instalațiilor frigorifice sînt cele mai mari cînd diferența de temperatură între sursa caldă și rece este cea mai mare (deci tocmai vara). Pierderile de frig prin izolații sînt maxime tot vara ;

— instalațiile trebuie dimensionate pentru acoperirea consumului maxim de frig, în peri-

oada de vară. Sursele de acționare sînt corespunzător mari;

— acumulările de frig fiind insignifiante, sursele de acționare (electrică și termică) sînt dimensionate pentru situațiile limită; în restul timpului utilajele funcționează în condiții neeconomice;

— pentru funcționare sînt necesare turnuri de răcire și sursă de apă proaspătă pentru adaos în circuitul de apă de răcire recirculată (alte consumuri energetice și valori irosite);

— cantități foarte mari de energie termică sînt disipate în aer fără a putea fi recuperate datorită nivelului prea scăzut al temperaturii (apropiată temperaturii mediului ambiant).

4. Deficiențe ale utilizării vara a energiei solare și a vîntului la producerea frigului

După cum este binecunoscut consumul de frig pentru depozitarea și transportul produselor (alimentare sau tehnice) este maxim vara în zilele cele mai însorite.

Deși graficul consumului de frig se aseamănă foarte mult cu graficul energiei solare convertită în energie termică sau electrică [13] utilizarea acestor energii la producerea frigului, în special sub 0°C, întîmpină încă multe dificultăți.

Dintre acestea enumerăm cîteva.

— Datorită temperaturii impuse sursei reci de consumatorul de frig, sursa solară-termică trebuie să funcționeze la parametri foarte nefavorabili (temperatura agentului termic mare, randament de conversie mic, timp scurt de utilizare diurnă și sezonieră).

În consecință, instalația solară are dimensiuni foarte mari, necesită spații mari pentru amplasare și consum mărit de energie pentru pomparea fluidelor (incluzînd și unitatea de stocare termică), are preț de investiție și de cost excesiv de ridicat.

— Sursa termică solară nu poate fi utilizată în sezonul rece sau noaptea.

— Temperatura scăzută a agentului termic livrat impune elaborarea de noi tehnologii frigorifice specifice (și a echipamentelor corespunzătoare), care au eficiență tehnico-economică mai mică decît tehnologiile tradiționale.

— Sursa solară fotovoltaică are încă puteri foarte mici (insuficiente unor aplicații industriale) și are preț de cost total necompetitiv.

Energia vîntului, convertibilă pentru acționarea instalațiilor frigorifice, este minimă vara (exact în perioada cînd consumul solicitat este maxim) și poate fi utilizată numai în anumite locuri, bine verificate anterior în privința potențialului energetic.

În plus, echipamentele realizate pînă în prezent sînt de puteri mici și funcționează avînd o utilitate industrială numai peste anumite viteze ale vîntului (ceea ce însumează un număr inacceptabil de ore de exploatare).

O deficiență majoră, comună tuturor surselor solare și eoliene este aceea că ele sînt neprogramabile, fiind expuse total evoluțiilor meteorologice [13].

În țara noastră această deficiență și altele (privind fiabilitatea, prețul de cost, noutatea etc.), în contextul condițiilor meteorologice și geografice, fac ca performanțele tehnico-economice să fie nespectaculoase (deci greu convingătoare) și uneori discutabile.

5. Descrierea soluției

Soluția adoptată de autori se referă la un depozit general de produse alimentare sau tehnice, ea putînd fi adaptată pentru diferite situații concrete (în funcție de specificul produselor, capacitatea de depozitare, temperaturile de păstrare, rulajul produselor și locul amplasării).

Ea îmbină tehnologii tradiționale frigorifice (ghețărie, cuplată cu depozit cu sursă proprie de frig) cu utilizarea surselor neconvenționale de energie (solare, eoliene) și a pompelor de căldură [14].

Deși costul investiției inițiale este evident mai mare, făcînd analiza tehnico-economică (preț de cost, consum de energie), la nivelul utilizatorului frigului (inclusiv transportul), rezultă avantaje certe, care, în perspectiva perfecționării surselor neconvenționale, vor impune această soluție în viitor.

Pornind de la necesitatea optimizării performanțelor ansamblului sursă-consumator de frig, s-a mers pe calea reducerii la maximum a deficiențelor și fructificării avantajelor (prin însumare și amplificare, ca urmare a aducerii în situațiile de funcționare cele mai avantajoase) pentru fiecare categorie de instalație.

Principiile adoptate

— Produsele și spațiile de depozitare sînt răcite nu numai prin funcționarea continuă a instalațiilor de frig, ci și (în special) cu ajutorul gheții fabricate în perioade favorabile, reci, cînd consumurile energetice specifice scad foarte mult. În acest mod instalațiile de frig au încărcare uniformă tot timpul anului.

— În funcție de temperaturile impuse de consumatorii de frig, instalațiile frigorifice asigură vara răcirea finală sau compensarea aporturilor de căldură și completarea fondului de gheață.

— Gheața este produsă natural și (sau) artificial în perioada rece și este utilizată în perioada caldă la locul de consum. Se înlătură astfel pierderile la transport vara — foarte mari — datorită topirii și manevrării și iarna (la colectare și depozitare).

— Gheața este curată (se elimină efectele nedorite ale poluării mediului și murdăririi gheții la depozitare).

— Instalaţia frigorifică este mixtă (acţionare cu agent termic şi energie electrică) şi adaptată să funcţioneze cu surse convenţionale şi neconvenţionale. În funcţie de nivelele de temperatură impuse, ea este compartimentată şi specializată.

— Generatoarele de gheaţă artificială (reamplasabile) vor funcţiona iarna în aer liber, în partea superioară a căldurii, iar vara în spaţii închise, în clădire.

— Generatoarele-colectoare de gheaţă naturală sînt montate pe acoperiş. Colectarea şi depozitarea gheţii se face cu dispozitive de mecanizare simple, fără consum de energie clasică.

— Ansamblul de producere a gheţii naturale este utilizat vara ca sistem de răcire a apei recirculate.

— Apa provenită din topirea gheţii este utilizată pentru compensarea pierderilor de frig prin izolaţie şi ca adaos în circuitul de apă recirculată.

— Se utilizează dispozitive originale de mică mecanizare fără surse energetice clasice.

— Energia vîntului este utilizată la producerea gheţii în special iarna şi în perioade avantajoase (vînt puternic), în rest — şi în măsura posibilului — la iluminat, şi ventilat.

— Instalaţiile de frig sînt concepute ca pompe de căldură. Vara apa caldă produsă este utilizată tehnologic (spălări) şi social (grupuri sanitare), iar iarna este utilizată la încălziri de spaţii.

— Captatoarele solare termice sînt utilizate în sezonul rece (primăvara-toamna) ca sursă rece a pompei de căldură care livrează apă caldă pentru spălări şi încălziri. Durata lor de utilizare anuală se triplează.

— Gheaţa formată nedorit în spaţiile răcite este colectată şi reutilizată eficient.

— Sînt adoptate soluţii constructive noi şi avantajoase şi materiale corespunzătoare scopului.

— Gradul de ocupare a terenului (calculat pentru ansamblul sursei energetice, surse frigorifice şi depozit) este competitiv.

Dintre rezolvările constructive, de ansamblu sau de detalii, se pot prezenta următoarele :

— Depozitul este compartimentat pe funcţiuni şi pe nivele de temperaturi impuse spaţiilor. El este organizat pe orizontală şi verticală pentru a micşora la maximum aporturile de căldură.

S.A.S.-urile au dimensiuni mai mari

— Izolaţia, de tip stratificat, este îmbunătăţită faţă de cea tradiţională.

— Orientarea clădirii e prevăzută corespunzător pentru micşorarea aporturilor de căldură şi îmbunătăţirea condiţiilor de funcţionare a surselor neconvenţionale. Blocul tehnic este orientat spre sud, iar partea de distribuire a produselor spre nord.

— Instalaţiile frigorifice sînt prevăzute să funcţioneze ca pompe de căldură.

— În funcţie de temperaturile necesare în spaţiile de depozitare în scopul temperaturilor sub 0°C — instalaţiile frigorifice vor funcţiona în cascadă, treapta de joasă temperatură fiind acţionată cu energie clasică, iar treapta de temperatură mai ridicată fiind acţionată în funcţie de situaţiile meteorologice : solar, termic sau (şi) clasic. Pentru ambele trepte economia de energie este evidentă, în comparaţie cu soluţia clasică.

— În funcţie de necesităţi şi condiţii apa încălzită în captatoarele solare este utilizată fie direct pentru spălări tehnologice şi încălziri (primăvara-toamna), fie ca sursă rece pentru pompa de căldură cu energie clasică.

— Instalaţia acţionată solar este de tipul absorbţiei (sau absorbţie-resorbţie). Ea face frig la cca. 15°C : în acest fel indicii ei energetici şi economici sînt cu cca. 200—300% mai buni decît dacă ar face frig la —5°C (sau gheaţă). În plus, durata ei de utilizare anuală este astfel mai mare. Ea poate utiliza şi RES-uri cu temperaturi de circa 80°C (ale întreprinderii sau din zonă).

— Generatoarele de gheaţă (de tip tuburi sau fulgi) au pregătite două amplasamente : iarna în spaţii descoperite — gheaţa este amplificată de temperatură, vînt şi umiditate — şi vara în interiorul clădirii.

— Sistemul de răcire a apei recirculate (turnuri de răcire) este de tip special, montat pe acoperiş şi avînd structuri comune cu generatoarele colectoare de gheaţă naturală.

— Gheaţa naturală şi artificială se autocolectează folosind energia vîntului sau sub greutate proprie (în cazuri speciale cu intervenţia omului). Ea se tasează sub greutate proprie şi este depozitată în partea superioară şi laterală a clădirii. De asemenea, ea se depozitează porţionat pentru uşurinţa transportului sau la cererea unor beneficiari.

— În depozitul de gheaţă sînt utilizate efectul de termosifon şi stratificarea termică.

— În funcţie de condiţiile specifice de depozitare sînt compartimentate prin soluţii originale, iar manevrarea produselor este mecanizată.

— În locurile cu potenţial eolian utilizabil, iluminatul de siguranţă şi (parţial) cel general este asigurat cu energia vîntului (direct sau cu baterii).

— Surplusul de apă caldă poate fi folosit în zonă (încălziri, irigări grădini) sau poate fi răcit în turnul de răcire.

6. Stadiul cercetării

Consideraţiile prezentate mai sus necesită un timp îndelungat pentru cercetare teoretică, experimentală, proiectare, construire şi testare de utilaje, echipamente şi construcţii.

Au fost realizate şi testate două tipuri de generatoare de gheaţă (tuburi şi fulgi).

A fost incomplet testată o fabrică de gheaţă fulgi (capacitate 1 500 kg/zi), realizată de ICPE la staţia Agigea conform unui proiect ISPCAIA Bucureşti (la care au colaborat şi Catedra de specialitate de la Institutul Politehnic Bucureşti şi Universitatea Galaţi). Instalaţia frigorifică este de tipul absorbţie amoniac în două trepte.

Sînt în curs de desfăşurare cercetări teoretice şi experimentale pentru diferite subansambluri de instalaţii şi dispozitive de mecanizare.

Stadiul cercetării şi al realizării echipamentelor surselor energetice neconvenţionale (solar-termic, solar fotovoltaic şi eolian) este cunoscut din lucrările de specialitate.

7. Concluzii

Toate depozitele de frig sînt dimensionate pentru condiţiile lor proprii de funcţionare. Deşi foarte diferite ca valoare consumurile energetice specifice şi totale au o importanţă deosebită în ansamblul indicatorilor tehnico-economici. Criza energetică amplifică această importanţă.

Soluţia prezentată (care prevede implementarea surselor energetice neconvenţionale în condiţii de eficienţă maximă prin reconsiderarea totală a problemelor de tehnologie şi utilizarea frigului artificial şi natural) asigură economii certe de energie, menţinînd restul indicatorilor tehnico-economici la nivel competitiv.

Performanţele vor fi cu atît mai bune cu cît ocurile de amplasare sînt mai calde, însorite şi izolate.

Soluţia prezentată are caracter general, de directivă tehnică. Se cercetează soluţii pentru cazuri concrete, cu rezolvări concrete specifice.

În cazul pescăriilor, întreprinderilor horticole, legumicole, pomicole (sau alte domenii, cu exploatare tradiţional sezonieră) utilizarea acestei soluţii conduce la rezultate spectaculoase, valorificarea surselor neconvenţionale putînd asigura aproape 60% din consumul energetic anual.

Bibliografie

[1] *Planck, R.* Thermodynamische Grundlagen, Berlin Springer—Verlag, 1953.

[2] *Stamatescu, C.* Tehnica frigului, Bucureşti, Editura tehnică 1972, Vol. I, Procese de producere a frigului. Procedee de producere a frigului industrial.

[3] *Bäackström, M. şi Emblik, E.* Kältetechnik. Karlsruhe, Verlag G. Braun, 1965.

[4] *Mörsel, H. ş.a.* Kälteanlagen. Berlin, VEB Verlag Technik, 1967.

[5] *Stamatescu., C. ş.a.* Criogenie tehnică, Bucureşti, Editura tehnică, 1982.

[6] *Duicu, T., Radcenco, V.* Tehnica temperaturilor joase. Litografia Institutului Politehnic Bucureşti, 1984.

[7] *Stamatescu, C. ş.a.* Tehnica frigului, Vol. II, Calculul şi construcţia maşinilor şi instalaţiilor frigorifice industriale, Bucureşti, Editura tehnică, 1979.

[8] *Grigoriu, M.* Construcţia şi calculul instalaţiilor frigorifice, Litografia Institutului Politehnic Bucureşti, 1985.

[9] *Komarov, N. S.* Frigul, Bucureşti, Editura tehnică 1976.

[10] *Radcenco, V.* Criterii de optimizare a proceselor termice Bucureşti, Editura tehnică, 1977.

[11] *Radcenco, V., Porneală, S., Dobrovicescu, A.* Procese în instalaţii frigorifice, Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1983.

[12] *Chiriac, Fl.* Instalaţii frigorifice, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1981.

[13] *Dănescu, Al., Bucurenciu, S., Petrescu, St.* Utilizarea energiei solare, Bucureşti, Editura tehnică, 1980.

[14] *Radcenco, V. ş.a.* Instalaţii de pompe de căldură, Bucureşti Editura tehnică, 1985.

CZ 621.313.12:621.3.016

ENERGIE EOLIANĂ
GENERATOR ELECTRIC

Turbina de vînt cu generator electric de 1 kW, la viteza vîntului de 7 m/s

GHEORGHE OLARU, MIHAI RÂPEANU* — BUCUREŞTI

Introducere

Pentru satisfacerea deziderateului de realizare a unui agregat electric acţionat de vînt care, funcţionînd în locuri izolate, fără acces la reţeaua electrică naţională, să poată asigura necesarul de energie al unor ferme sau mici aşezări.

În cele ce urmează este descrisă soluţia constructivă a unei turbine cu ax orizontal cu generator electric, avînd puterea nominală de 1 kW la viteza vîntului de 7 m/s. Turbina este realizată în ICPE.

1. Alegerea soluţiilor constructive

Pentru alegerea tipului optim de turbină s-au precizat următoarele condiţii :

— viteza medie anuală a vîntului : 4m/s;

— viteza de demarare a turbinei : 3,5 m/s;

— producerea de energie utilă pe o plajă întinsă a vîntului, începînd de la 4 m/s pînă la 35 m/s;

* Cercetători ştiinţifici — ICPE — Bucureşti

— limitarea frecvenței de rotație a turbinei la maxim 20% peste frecvența de rotație nominală;
— prezența unei rezerve de putere a generatorului de 50% la viteza nominală a turbinei;
— protecție la rafale și viteze mari ale vîntului.

Din comparația diferitelor tipuri de turbine [1], [2], s-a ajuns la concluzia că aceste condiții pot fi satisfăcute de o turbină rapidă cu pas variabil, cu reglarea palelor în contra curentului de aer, orientarea prin derivor și generator sincron cu excitație permanentă.

2. Determinarea caracteristicilor principale

2.1. Viteza nominală de calcul a vîntului

Pentru dimensionarea optimă a turbinei s-a avut în vedere recomandarea ca viteza de calcul a vîntului să fie:

$$V_N = (1{,}5 - 2)\ V,\ \text{m/s}, \qquad (1)$$

unde: V este viteza medie anuală a vîntului, m/s.

Se precizează astfel: $V_N = 7$ m/s

2.2. Diametrul turbinei

a rezultat din relația:

$$D = \sqrt{\frac{P_g}{0{,}393 \cdot \rho \cdot V_N^3 \cdot \eta}},\ \text{m} \qquad (2)$$

unde:

P_g=1 000W reprezintă puterea nominală la bornele generatorului;
ρ=1,23 kg/m³ — densitatea aerului;
$V_N = 7$ m/s — viteza nominală de calcul a vîntului;
$\eta = \eta_T \eta_m \eta_g$=0,252 — randamentul global al conversiei;
$\eta_T = 0{,}35$ — randamentul turbinei;
$\eta_m = 0{,}8$ — randamentul multiplicatorului;
$\eta_g = 0{,}9$ — randamentul generatorului;

Înlocuind s-a obținut: $D = 5$ m

2.3. Frecvența de rotație a turbinei

S-a determinat din relația:

$$n = \frac{60\lambda \cdot V_N}{\pi \cdot D},\ \text{min}^{-1},$$

unde: $\lambda = 5{,}6$ este viteza specifică [3].

Înlocuind s-a obținut: $n = 150\ \text{min}^{-1}$

3. Construcția turbinei de vînt

Turbina de vînt este o construcție integrată alcătuită din elementele reprezentate în figura 1.

Principalele subansamble ale turbinei de vînt sînt prezentate în continuare.

3.1. Butucul cu sistemul de reglare

Pe axul principal al turbinei este montat un butuc cu trei axe (fig. 2). Aceste axe susțin

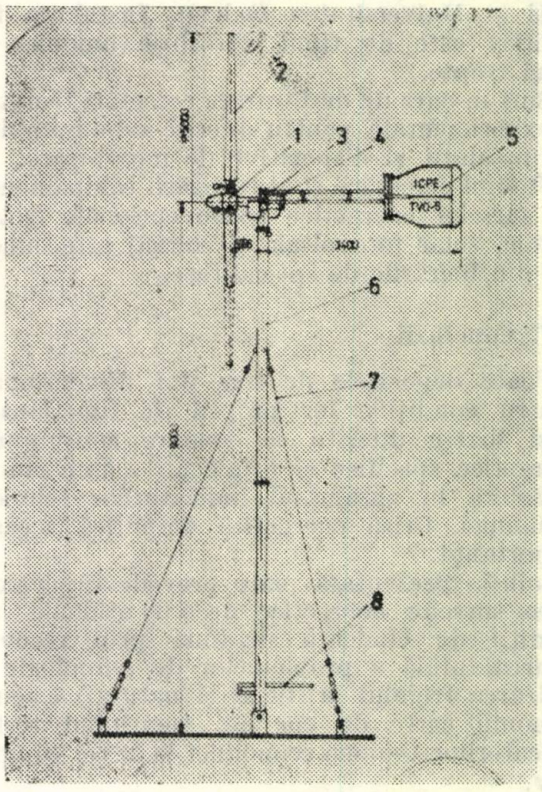


Fig. 1. Turbina de vînt, vedere de ansamblu: *1* — butuc; *2* — pală; *3* — multiplicator; *4* — generator; *5* — derivor; 6 — stîlp.

flanșele pentru asamblarea palelor. De flanșe, prin intermediul unor pivoți, sînt prinse pîrghii care acționează un lagăr de translație. Lagărul comprimă un arc de forță redusă la pornirea turbinei și un arc de forță mărită la frînare.

Pentru modificarea pasului turbinei sînt folosite trei mase centrifugale care se fixează de flanșele superioare ale palelor. Cuplul activ dat de masele centrifugale s-a calculat din relația:

$$M_m = 0{,}0109 \cdot m \cdot n^2 \cdot d^2 \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{2},\ \text{Nm}, \qquad (4)$$

unde:

m este masa centrifugală, kg;
d — distanța de la centrul masei la axa palelor, m;
α — unghiul pe care îl formează brațul masei cu planul turbinei;
n — frecvența de rotație a turbinei, min^{-1}.

Celelalte cupluri care acționează palele sînt:
— cuplul inerțial al palelor, M_p;

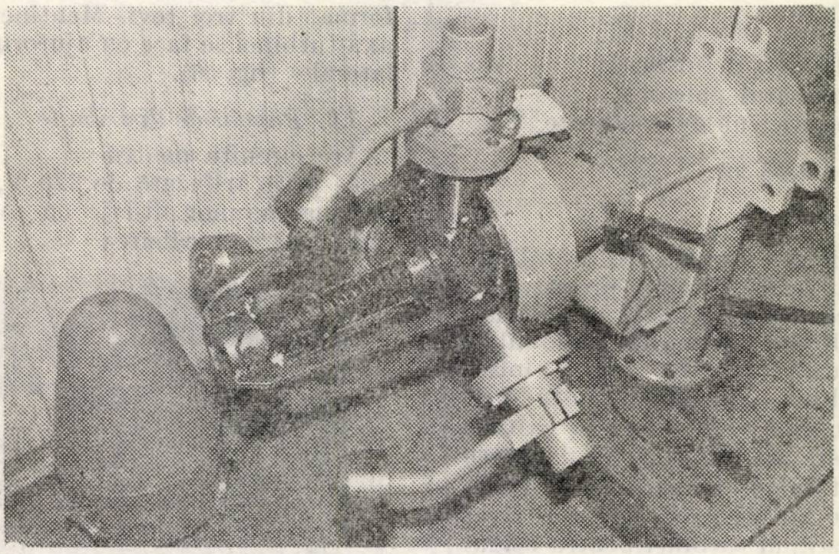


Fig. 2. Butucul cu sistemul de reglare pe standul de încercări.

— cuplul aerodinamic al palelor, M_a;
— cuplurile de frecări în rulmenţi şi etanşări, ΣM_μ.

Cunoscînd aceste cupluri s-au determinat cuplurile antagoniste ale arcurilor de compresie din relaţia :

$$M_R = M_m + M_p - M_a - \Sigma M_\mu, \quad \text{Nm.} \quad (5)$$

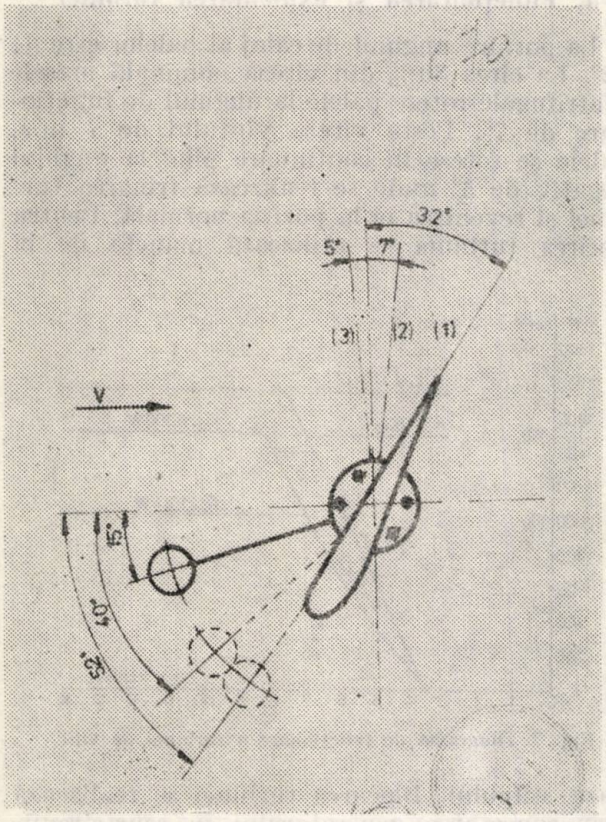


Fig. 3. Poziţiile de funcţionare a maselor şi palelor: $(1)n_1 = 60$ min^{-1}; $(2)n_2 = 150$ min^{-1}; $(3)n_3 = 175$ min^{-1}.

Poziţiile palelor şi maselor sînt prezentate în figura 3 pentru trei viteze de funcţionare.

3.2. Pala

Este alcătuită dintr-o coloană centrală care uneşte opt profile Göttingen 623 (fig. 4). Peste profile este fixat, prin electronituire, un înveliş din tablă. Peste înveliş este aplicată o peliculă de protecţie cu inserţie. Coloana este prevăzută cu o flanşă sudată pentru asamblare. Coarda palei s-a determinat din relaţia :

$$C = \frac{\pi D \cdot S}{N}, \quad \text{m} \quad [3], \quad (6)$$

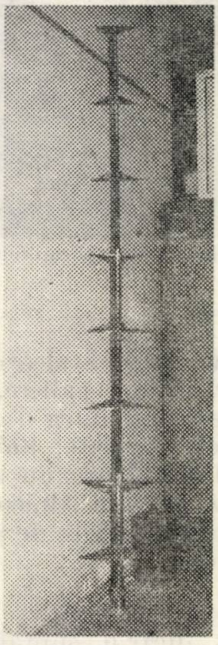


Fig. 4. Scheletul palei.

unde:

$D = 5$ m este diametrul turbinei;
$N = 3$ — numărul palelor;
$S = 0{,}55$ — coeficient de soliditate [3].

A rezultat: $C = 0{,}28$ m.

3.3. Multiplicatorul

Este compus dintr-o carcasă orizontală în care se montează axul turbinei prevăzut la capătul opus al acesteia cu o roată cu dantură interioară (fig. 5). Roata angrenează pinionul de pe axul generatorului printr-o roată intermediară. Raportul de multiplicare este 5 :1.

De carcasa orizontală este sudată o carcasă verticală în care este montat colectorul pentru transmiterea curentului electric. Întregul ansamblu este montat pe un pivot cu rulmenți fixat printr-o flanșă pe stîlpul turbinei pentru asigurarea orientării.

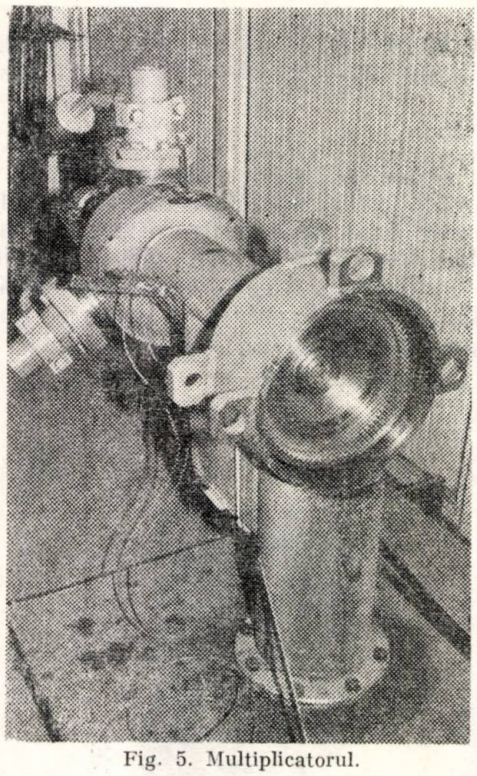


Fig. 5. Multiplicatorul.

3.4. Generatorul

Este o mașină sincronă alcătuită, în principal, din stator, rotor, paliere, cutie borne. Statorul este constituit dintr-o carcasă în care sînt presate tolele ștanțate. Bobinajul este în două straturi. Rotorul are un ax cu butuc pe care sînt fixați 8 poli din Alnico 35/5. Polii au tălpi polare care sînt sudate de piese nemagnetice intermediare.

3.5. Derivorul

Este alcătuit dintr-o suprafață plană de 0,9 m² din tablă, prinsă articulat de un cadru format din trei țevi. Menținerea suprafeței pe axa turbinei se face cu ajutorul a două resoarte laterale (fig. 6).

3.6. Panoul de distribuție

Are circuite pentru:

— priză trifazată de 220 V, 1 500 W pentru acționarea unor utilaje cu motoare asincrone sau pentru încălzire;

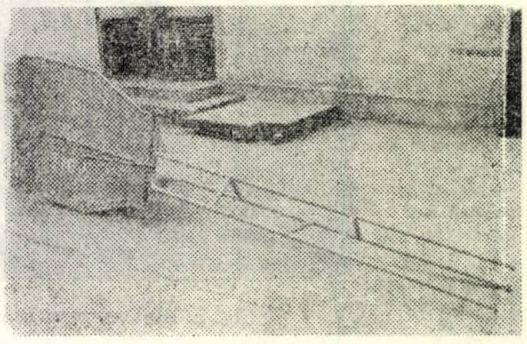


Fig. 6. Derivorul.

— priză de 12 V, 24 Vc.c. 250 W pentru încărcarea bateriilor;

— priză de 24 Vc.c. 150 W pentru iluminat;

— 2 prize de 220 V, 50 Hz, 500 W pentru alimentarea unor aparate cu tensiune stabilizată.

4. Funcționarea și exploatarea turbinei

La pornire unghiul de calaj al palelor este de 32°. La circa 30% din viteza nominală masele centrifugale rotesc palele la unghiul de funcționare de 7°. Peste viteza vîntului de 7 m/s, palele se rotesc în continuare pînă la unghiul negativ de 5° unde se realizează frînarea turbinei și revenirea ei la poziția normală. Pentru oprirea turbinei se utilizează maneta de la

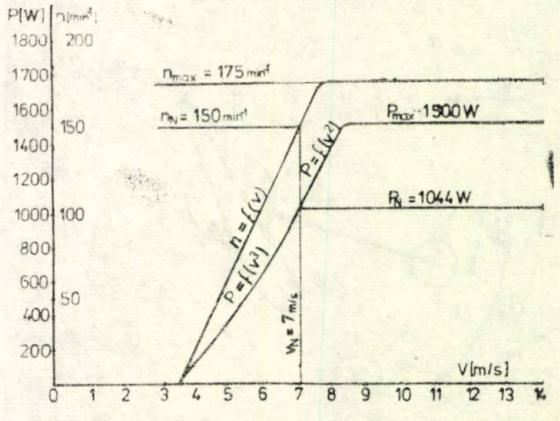


Fig. 7. Diagrama de funcționare a turbinei de vînt.

baza stîlpului. Blocarea turbinei se realizează prin conectarea generatorului în scurtcircuit. Protecția turbinei la rafale de vînt este asigurată prin înclinarea derivorului față de axa

turbinei. Prin utilizarea turbinei într-o zonă cu 4 000 ore/an cu viteza vîntului mai mare de 4 m/s şi cu un coeficient de utilizare a instalaţiei de 75% se poate obţine o energie E = 2 000 kWh/an. Turbina funcţionează conform diagramei din figura 7.

5. Caracteristici principale

Tipul turbinei TVO-5
Puterea turbinei la ax . . . . .1 500 W
Viteza nominală a vîntului . .7 m/s
Frecvenţa de rotaţie . . . . . .150 min^{-1}
Viteza specifică . . . . . .$\lambda = 5,6$
Diametrul turbinei . . . . . .5 m
Numărul palelor 3
Puterea nominală la bornele generatorului . . . . . .1 000 W
Puterea maximă a generatorului 1 500 W
Tensiunea nominală . . . . . .220 V
Frecvenţa curentului . . . . .50 Hz
Felul curentului . . . . . .trifazat

6. Concluzii, perspective

Agregatul de vînt tip TVO-5 este realizat la nivelul tehnicii actuale, avînd la bază experienţa unor ţări cu tradiţie în domeniu. Îmbunătăţirile aduse vor contribui la exploatarea mai eficientă a instalaţiei care va putea fi utilizată pentru alimentarea cu energie electrică a micilor consumatori individuali, amplasaţi în zone cu viteza medie anuală a vîntului mai mare de 4 m/s.

Bibliografie

[1] Désiré Le Gourrières, Ed. Eyrolles, Paris 1982.

[2] *Sefter, Ia. I.* Vetroenergheticeschie agregat., Izd. Masinostroenie, Moscova 1972.

[3] * * * UND Project — Testing and demonstration of renewable energy technologies, Vol. II, febr 1983.

CZ 621.316.05:620.91

ENERGIE
ENERGIE EOLIANĂ

Turbina de vînt EV—04, proiectare şi experimentări

ADRIAN RADU* — BUCUREŞTI

În cadrul programului de valorificare a surselor neconvenţionale de energie, în ICPE a fost realizată o turbină de vînt de mică putere, echipată cu un generator electric de 400 W. Destinaţia acestei turbine este de a funcţiona în locuri izolate, pentru încărcarea bateriilor de acumulatori şi consumatori casnici.

Generatorul utilizat a fost proiectat pe structura mecanică a unui motor de curent continuu tip Ci 12, fabricat la IMEB. Deoarece caracteristicile maşinii de serie (24 V; 375 W; 1680 rot/min) nu permiteau utilizarea acesteia prin cuplare directă cu rotorul turbinei, a fost necesară reproiectarea bobinajului maşinii. S-a obţinut, astfel, un generator electric de c.c. cu excitaţie-derivaţie, cu următoarele caracteristici:

— tensiunea nominală $U_n = 24$ Vc.c.;
— puterea nominală $P_n = 400$ W;
— turaţia nominală $N_n = 830$ rot/min.

Caracteristicile maşinii au fost determinate pe baza unor încercări de laborator, în cadrul cărora au fost urmărite:

— fenomenul de autoexcitaţie a generatorului (fig. 1);
— obţinerea tensiunii nominale în sarcină;
— obţinerea caracteristicilor de funcţionare în sarcină pentru diferite turaţii (fig. 2);
— obţinerea caracteristicilor $I = f(n)$ la tensiune constantă (fig. 3).

Caracteristicile de sarcină $U = f(I)$ au fost ridicate pentru 5 valori diferite ale turaţiei.

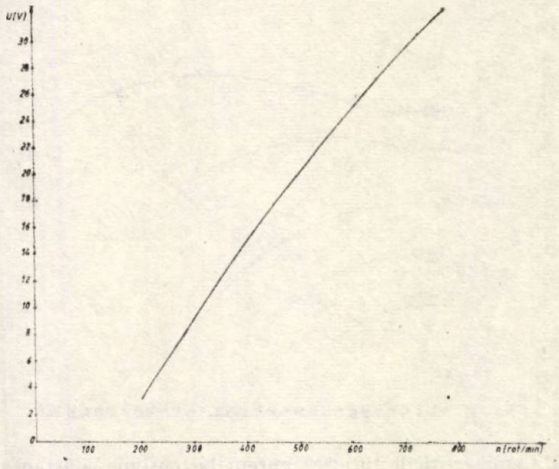


Fig. 1. Caracteristica de mers în gol a generatorului electric.

A fost trasată şi curba-loc geometric a puterilor maxime debitate de generatorul electric pentru diferite valori ale turaţiei.

* Cercetător ştiinţific la Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică Bucureşti (ICPE)

Caracteristicile curentului debitat funcţie de turaţie au fost ridicate la tensiune constantă cu valorile de 24 V şi 28 V.

Pentru antrenarea generatorului a fost utilizată în prima fază o pală din lemn (cherestea

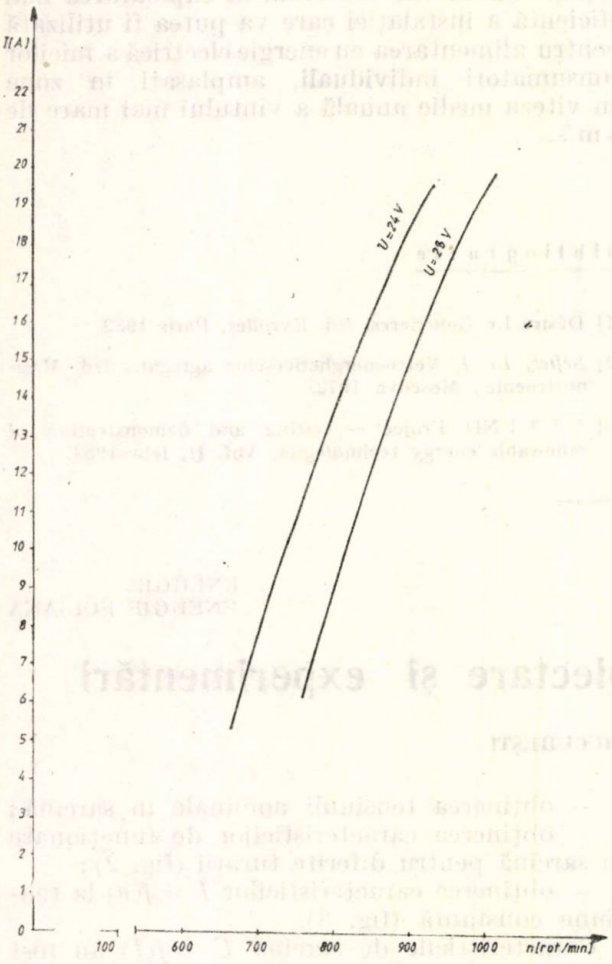


Fig. 2. Caracteristicile de sarcină a generatorului electric.

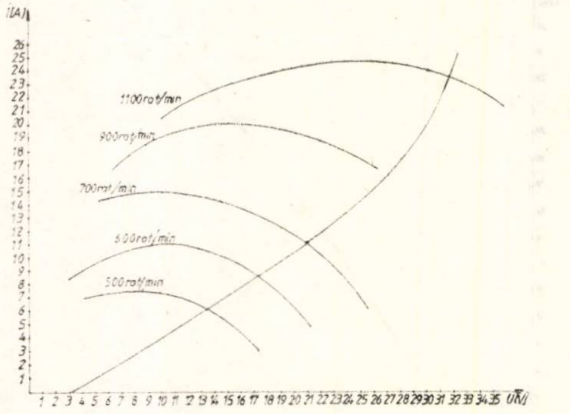


Fig. 3. Caracteristicile turaţie—curent la tensiune constantă.

de răşinoase) avînd diametrul de 1 810 mm, profil Gö 624 şi rapiditatea optimă $\lambda_0 = 8$. Cu acest tip de pală a fost echipat unul dintre cele două modele experimentale realizate, care a fost supus încercărilor de funcţionare în condiţii reale la Staţia de Cercetări Experimentale ICPE-Agigea.

Datorită randamentului sistemului generator-transmisie mecanică (cuplarea directă are un randament apropiat de unitate), care are valoarea 0,6, s-a ajuns la concluzia că performanţele globale ale turbinei pot fi îmbunătăţite utilizînd o pală de diametru mai mic. Din relaţia de calcul a puterii generatorului:

$$P = c_p \cdot \eta \cdot D^2 \cdot V^3, \qquad (1)$$

unde:

P este puterea la bornele generatorului electric; c_p — randamentul aerodinamic al palei — estimat la valoarea 0,4; η — randamentul global generator-transmisie mecanică; D — diametrul rotorului turbinei; V — viteza vîntului;

considerînd viteza nominală a vîntului $V = 9$ m/s se obţine:

$$D = \sqrt{\frac{P}{c_p \cdot \eta \cdot V^3}} \cong 1{,}5 \text{ m}. \qquad (2)$$

Ca soluţie constructivă a fost aleasă utilizarea aceluiaşi profil de pală cu diametrul de 1 500 mm. Pentru definitivarea caracteristicilor celor două variante de pală, un al doilea model experimental de generator a fost supus încercărilor în tunel aerodinamic.

Maşina electrică a fost utilizată în regim de motor acţionat de o sursă de 24 V/25 A pendeterminarea caracteristicilor palelor, şi de generator electric debitînd energie pe o sarcină rezistivă pentru determinarea parametrilor globali ai turbinei. Un traductor de cuplu şi turaţie a fost plasat pe axul turbinei între pală şi generator.

Principiul metodei de măsură a fost următorul:

a. Pentru determinarea parametrilor palelor a fost stabilit un regim constant de viteză de vînt în suflerie, după care pala a fost acţionată în sens invers cu ajutorul motorului electric. Regimurile de viteză au fost 4,45 m/s, pentru pala de 1 500 mm şi 5,54 m/s, pentru pala de 1 810 mm.

b. Pentru determinarea parametrilor globali ai turbinei a fost efectuată încercarea în sarcină a generatorului electric la viteză variabilă a curentului de aer.

În cadrul experimentărilor au fost măsurate mărimile mecanice la axul elicei (cuplul şi turaţia), curentul în circuitul electric şi tensiunea la bornele generatorului.

Iniţial, măsurătorile pentru determinarea caracteristicilor palelor au fost făcute la viteze mai mari ale curentului de aer, dar puterea

redusă a maşinii electrice n-a permis obţinerea unui număr suficient de puncte de măsură.

Mărimile măsurate au fost adimensionalizate conform relaţiilor :

$$c_{ps} = \frac{P_{ax}}{\rho/2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_S^3}, \quad (3)$$

$$c_{ms} = \frac{M_{ax}}{\rho/2 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V_S^3}, \quad (4)$$

în care :

c_{ps} este coeficient de putere în suflerie ;
c_{ms} — coeficient de moment în suflerie ;
R — raza palei, în m (0,75 m şi 0,905 m) ;
P_{ax} — puterea la axul palei, în W ;
M_{ax} — momentul axului palei, în Nm ;
V_S — viteza curentului de aer în suflerie în m/s ;
ρ — 1,23 kg/m^3 — densitatea aerului.

S-au trasat curbele de variaţie ale coeficienţilor c_{ps} şi c_{ms} în funcţie de viteza adimensională λ_s definită de raportul :

$$\lambda_s = \frac{\text{viteza vîrfului palei}}{\text{viteza curentului în suflerie}} = \frac{\pi \cdot N \cdot R}{30 V_s}$$

Curbele $c_{ps}(\lambda_s)$ şi $c_{ms}(\lambda_s)$ prezentate în figura 4 reprezintă caracteristicile de suflerie ale aerogeneratorului. Pentru obţinerea caracteristicilor reale s-a ţinut seama de faptul că încercările au fost efectuate în domeniul mărginit, elicea funcţionînd ca o elice înlubată.

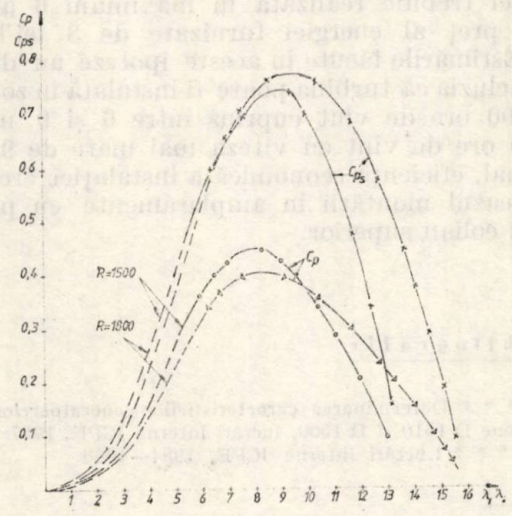


Fig. 4. Variaţia coeficientului de putere în suflerie c_{ps} şi real c_p în funcţie de viteza periferică a palei.

Metoda utilizată pentru corecţia rezultatelor obţinute în suflerie se bazează pe modelul discului activ şi ecuaţiile de conservare a masei şi componentei axiale a impulsului. Această metodă ia în considerare atît blocajul de volum datorat prezenţei elicei, cît şi blocajul dîrei generate în spatele elicei şi supusă efectelor de limitare a pereţilor. După efectuarea corecţiilor au fost obţinute caracteristicile reale $c_p(\lambda)$ şi $c_m(\lambda)$ pentru cele două pale.

Pentru determinarea performenţelor globale ale turbinei de vînt a fost folosit montajul experimental din figura 5.

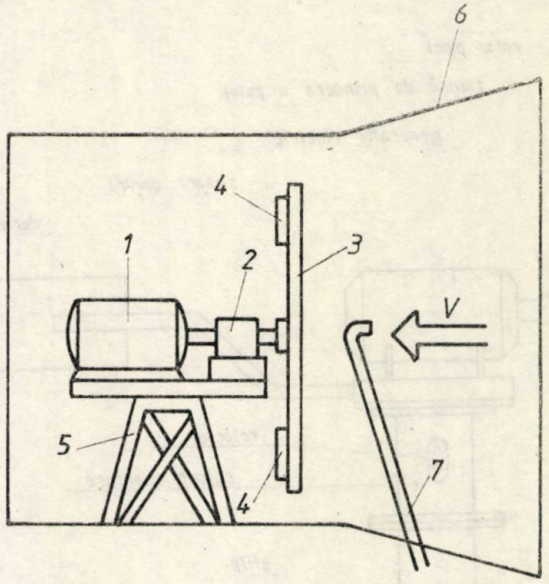


Fig. 5. Montaj experimental pentru determinarea caracteristicilor turbinei de vînt : *1* — generator electric ; *2* — traductor de cuplu şi turaţie ; *3* — pală ; *4* — spoilere ; *5* — stilp ; *6* — carcasă tunel ; *7* — tub—pitot.

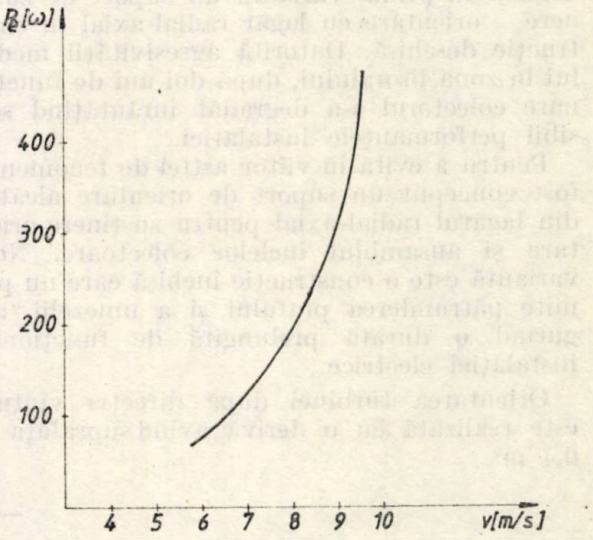


Fig. 6. Variaţia debitului de putere funcţie de viteza curentului de aer.

Au fost măsurate viteza curentului de aer, turaţia şi momentul la axul elicei, tensiunea

și curentul debitate de generator. Au fost calculate randamentul palei, puterea la axul elicei și puterea electrică debitată de generator. Pe baza datelor obținute a fost trasată caracteristica din figura 6.

În încercări s-a urmărit păstrarea tensiunii la bornele generatorului la valoarea de 24 V.

Modelul experimental cu pală de 1 500 mm a fost montat în Stația Experimentală ICPE-Agigea, în urma măsurătorilor urmînd a se stabili varianta optimă de cuplare pală-generator.

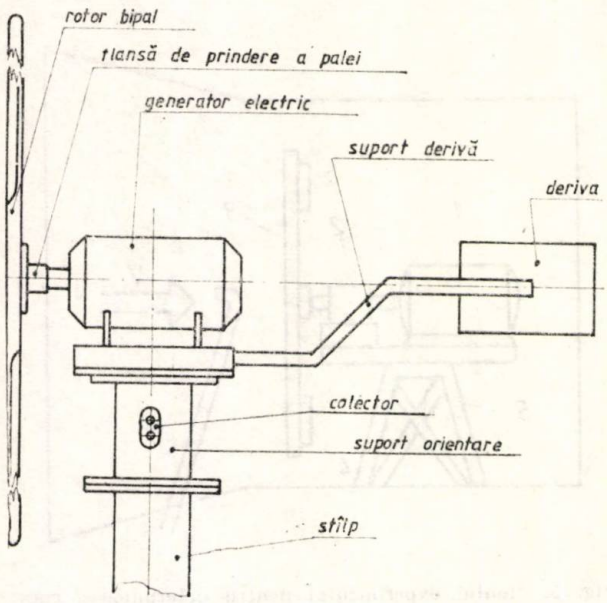


Fig. 7. Reprezentarea schematică a turbinei de vînt.

Pentru susținerea turbinei pe stîlp a fost utilizat la prima variantă un suport de susținere — orientare cu lagăr radial-axial în construcție deschisă. Datorită agresivității mediului în zona litoralului, după doi ani de funcționare colectorul s-a degradat înrăutățind sensibil performanțele instalației.

Pentru a evita în viitor astfel de fenomene a fost conceput un suport de orientare alcătuit din lagărul radial-axial pentru susținere-orientare și ansamblul inelelor colectoare. Noua variantă este o construcție închisă care nu permite pătrunderea prafului și a umezelii, asigurînd o durată prelungită de funcționare instalației electrice.

Orientarea turbinei după direcția vîntului este realizată cu o derivă avînd suprafața de 0,4 m².

Ca sistem de protecție la viteze mari de vînt a fost adoptată o frînă aerodinamică de tip Windcharger, o variantă îmbunătățită a frînei de același tip utilizată la generatorul eolian EV-02. Acest tip de frînă, acționată centrifugal, permite utilizarea turbinei de vînt la parametrii nominali la viteze de vînt mai mari decît viteza nominală.

Pentru oprirea totală a turbinei, în cazul depășirii vitezei limită de funcționare, a fost adoptată soluția punerii în drapel prin acționare de la sol, deoarece sistemele de frînare mecanică prin sabot, în afară de o soluție mai complicată, prezintă și o fiabilitate scăzută.

Montajul turbinei se face flanșat pe stîlp din țeavă de oțel la înălțimea impusă de caracteristicile amplasamentului ales.

O reprezentare schematică a turbinei de vînt EV-04 este prezentată în figura 7.

După definitivarea încercărilor modelului experimental de turbină, aflate în curs, faza următoare va consta în realizarea și omologarea prototipului.

În cadrul încercărilor cu modelul experimental, au fost utilizate sarcini electrice rezistive. Gama de aplicații ale energiei furnizate poate fi extinsă, alături de aplicațiile rezistive (încălzire, iluminat) turbina putînd fi utilizată și pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare și pomparea apei prin intermediul unei pompe acționate de motor electric de curent continuu. Dupa încercările turbinei în aceste aplicații se va stabili varianta optimă de utilizare.

La instalarea turbinei de vînt este necesară stabilirea potențialului eolian al amplasamentului, avînd în vedere că prețul instalației se ridică la circa 10 000 lei, iar recuperarea investiției trebuie realizată în maximum 6 ani la un preț al energiei furnizate de 3 lei/kWh.

Estimările făcute în aceste ipoteze au dus la concluzia că turbina poate fi instalată în zone cu 1 200 ore de vînt cuprins între 6 și 9 m/s și 500 ore de vînt cu viteza mai mare de 9 m/s anual, eficiența economică a instalației crescînd în cazul montării în amplasamente cu potențial eolian superior.

Bibliografie

[1] * * * Determinarea caracteristicilor generatoarelor eoliene D 1810 și D 1500, lucrări interne ICPE, 1987.
[2] * * * Lucrări interne ICPE, 1984—1988.

INDICAȚII REDACȚIONALE

Manuscrisele trimise spre publicare se organizează pe două dosare separate : text și figuri. Întreg materialul se trimite la redacție în două exemplare (originalul și copie carbon sau xerox).

Textul lucrării se compune din părțile specificate în continuare, acestea, urmînd drumuri diferite în tipografie se vor scrie pe pagini separate.

● Titlul, numele autorilor, rezumat scurt (maximum 30 cuvinte), cuvinte-cheie (maximum 3) și cod clasificare zecimală (CZ), adresa autorilor, funcția și locul de muncă al autorilor — totul pe o singură pagină dactilografiată la două rînduri.

Textul de bază (maximum 15 pagini dactilografiate la două rînduri pe o singură față a colii, format A_4).

Prima pagină a textului de bază se va organiza astfel : clasificarea zecimală (stînga sus) ; cuvinte — cheie (dreapta, sus) ; titlul articolului (centrat în pagină) ; numele și prenumele autorului (imediat sub titlu) ; textul primului capitol ; nota de subsol care va cuprinde locul de muncă al autorilor.

● Locul figurilor în text se marchează pe marginea din stînga a foii, prin scrierea numărului de ordine al acestora. Referirile bibliografice se fac în paranteze drepte, în ordinea apariției în text. Macheta sistematizării textului de bază este următoarea : cod de clasificare zecimală (stînga-sus) ; cuvinte cheie (dreapta sus) ; titlul articolului ; prenumele și numele autorului (autorilor) ; Introducere ; 1. Capitol ; 2. Capitol ..., n. Concluzii ; Anexe ; Bibliografie.

● Bibliografia — pe pagină separată, dactilografiată la două rînduri cu numerotarea în ordinea referirii în text, astfel :

[1] Petrescu, A. ș.a. Microcalculatorul Felix M18, M18B (vol. 1 și 2), București, Editura Tehnică, 1984.

[2] Hortopan, G. Aparate electrice, București ; Editura Didactică și Pedagogică, 1984.

[3] Aldefeld, B. Calculation and design of electromechanical devices. În : Philips Technical Revue, vol. 39, nr. 3/4, 1980, p. 112.

● Legendele figurilor — pe pagină separată, dactilografiată la două rînduri. Figurile lucrării, în număr de maximum 10, la număr maxim de pagini text, se desenează și se scriu în tuș pe calc, cu respectarea STAS în vigoare. Redacția revistei nu mai face nici o prelucrare a desenelor originale, ele fiind reproduse fotografic, cu coeficienți de reducere între 0,4 și 0,8. Autorii sînt rugați să țină seama de această reducere la efectuarea desenelor care nu trebuie să depășească formatul A_4 ; în mod special se atrage atenția asupra scrisului pe figuri, care, pentru cea mai bună prezentare a lucrării trebuie făcut cu șablonul de 3,5 mm (corespunzător cu coeficientul de reducere de 0,4). Imprimantele pe calculator trebuie să fie de mare claritate și contrast, ele neputînd fi prelucrate în redacție sau tipografie.

● Tabelele se vor efectua tot pe pagini separate.

* * *

Autorii sînt rugați să acorde o mare atenție clarității întregii lucrări. Ei trebuie să aibă tot timpul în vedere faptul că dificultățile subiectului tratat îi pun, oricum, probleme cititorului, astfel că este de datoria lor să nu solicite acestuia efort suplimentar pentru descifrarea unei lucrări greoaie, confuze etc.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA“ (E. E. A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) București. Articolele propuse spre publicare și cererile de abonamente se vor trimite la redacția revistei, București, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 și 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poștal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, București, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unități industriale și instituții, ca și pentru persoane particulare, este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA se pot adresa Intreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export — import presă — București — Calea Griviței nr. 64 — 66. P.O.B.— 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Intreprinderea Poligrafică „Informația“
București, str. Brezoianu, nr. 23—25, cd. 2491

MUSZAKI INFORMÁCIÓS HÖZPONTÉS KÖNYVTÁR 1983

1989 JUN 2

E 2040/1

R 1989 MAR 14

E 72

Electrotehnica Electronica Automatica

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 36 • NR. 7 • OCTOMBRIE 1988

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

Anul 36 Nr. 7 octombrie 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 621.365.2: 621.3.016

SURSE DE ENERGIE

CUPTOARE SOLARE

Zaides, E.: **Cuptoarele solare — o soluţie posibilă de obţinere a unor materiale de înaltă puritate folosite în industriile electrotehnică şi electronică.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 241

Se prezintă una din aplicaţiile ce folosesc energia solară — cuptoarele solare — cu ajutorul cărora se vor realiza progrese deosebite în domeniul materialelor electrotehnice, purificării unor materiale cu largi aplicaţii în electrotehnică şi electronică, prin topirea zonară, topirea în vid etc.

CZ 621.313.2: 621.319.7

GENERATOARE FOTOVOLTAICE
PROTECŢIE CATODICĂ ACTIVĂ

Olariu, N., Lauci, E., Vlad, M.: **Utilizarea surselor fotovoltaice la protecţia catodică activă a structurilor metalice îngropate.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 250

Lucrarea se referă la îmbunătăţirea, din punct de vedere energetic, a eficienţei protecţiei catodice prin utilizarea unui număr sporit de instalaţii echipate cu generatoare fotovoltaice.

CZ 620.91/92

ENERGIE SOLARĂ ŞI EOLIANĂ

Teodorescu, L., Zaides, E., Ion, R.: **Aplicaţii ale energiei solare şi eoliene în chimie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 256

Se prezintă rezultatele experimentale obţinute de ICPE în colaborare cu IECB — ICECHIM privind valorificarea unor deşeuri din industria chimică cu ajutorul energiei solare şi eoliene.

CZ 621.436: 621.313.2

MOTOR DIESEL-GENERATOR
COMPORTARE DINAMICĂ
FUNCŢII DE TRANSFER

Ghiţă Viorel-Vladimir: **Dinamica ansamblului motor diesel-generator sincron.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 261

Se face o descriere unitară a dinamicii grupurilor motor diesel-generator sincron, materializată în obţinerea funcţiilor de transfer. Ansamblul este modelat în raport cu un sistem de referinţă unghiulară solidar cu cîmpul învîrtitor statoric (tensiunea la bare), sistem de referinţă unic pentru mărimile electrice şi mecanice ale grupurilor cuplate în paralel la un sistem infinit sau insular.

CZ 621 — 83: 531.5

ACŢIONĂRI ELECTRICE
PROIECTARE

Manolea, Gh. ş.a.: **Alegerea şi verificarea puterii motoarelor electrice funcţionînd în serviciul S2.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 270

În lucrare se justifică analitic şi se prezintă un algoritm pentru alegerea şi verificarea la suprasarcină termică a motoarelor electrice de acţionare, construite pentru serviciile S1, S2 sau S3 şi utilizate în serviciul S2 diferit de cel standardizat. Se consideră o maşină de lucru cu puterea dată pentru care se aleg motoare construite pentru S1, S2 şi S3.

CZ 621.313.3: 621.3.015

CONDENSATOARE DE FORŢĂ
REGIM DEFORMANT

Bălan, T. ş.a.: **Contribuţii privind analiza funcţionării condensatoarelor din instalaţiile de compensare a factorului de putere în regim deformant.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 276

Considerînd caracteristicile de absorbţie ale condensatoarelor de forţă din instalaţiile de compensare a factorului de putere ca fiind asimilabile cu cele ale dielectricilor polari lichizi, se stabilesc relaţii utile în calculul comportării acestora în regim deformant. Se propun coeficienţi de supraîncărcare în putere, tensiune şi pierderi, diferiţi de cei din literatură.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCEONICĂ ; prof. dr. doc. şt. teh. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HÂNGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; prof. dr. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică : GRETA ANDREI

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 621.365.2 :621.3.016

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
СОЛНЕЧНЫЕ ПЕЧИ

Зайдес, Е.: **Солнечные печи — возможное решение при получении некоторых сверхчистых материалов использующих в рамках электронной и электротехнической промышленностях.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 241

Представляется одно из применений солнечной энергии — солнечные печи — при помощи которых получаются заметные прогрессы в области электротехнических материалов, очистки некоторых широко используемых в рамках электроники и электротехники материалов методом зонной, вакуумной плавки и т.д.

УДК 621.313.2: 621.399.7

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ
АКТИВНАЯ КАТОДНАЯ ЗАЩИТА

Оларию, Н., Лаучи, Е., Влад, М.: **Употребление фотовольтаических источников при активной катодной защите встроенных металлических структур.**

Е.Е А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 250

В работе представляется повышение эффективности катодной защиты с энергетической точки зрения использованием большого числа оснащенных с фотовольтаическими генераторами установок.

УДК 620.91/92

ВЕТРОВАЯ И СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИИ

Теодореску, Л., Зайдес, Е., Ион, Р.: **Применение ветровой и солнечной энергий в области химии.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 251

Представляются экспериментальные результаты, полученные ICPE в рамках сотрудничества с IECB-ICECHIM по эксплуатации некоторых остаток химической промышленности при помощи ветровой и солнечной энергий.

УДК 621.436: 621.313.2

ДИЗЕЛЬ-МОТОР-ГЕНЕРАТОР
ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ

Гицэ Виорел-Владимир: **Динамика комплекса дизель-мотор-синхронный генератор.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 261

Описывается динамика комплексов дизель-мотор-синхронный генератор, материализированной в получении передаточных функций. Комплексу придается форма относительно угловой системы отсчёта, действующей заодно со статорном вращающеемся полем (напряжение на стержнях), единная система отсчёта для механических и электрических величин паралельно соединённых групп к бесконечной или островной системе.

УДК 621-83: 531.5

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Маноля, Г. и др.: **Выбор и проверка мощности работающих электродвигателей в обслуживании S2.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 270

В работе оправдывается аналитически и представляется алгорифм для выбора и проверки электроприводов при термической перенагрузки, разработанных для служб S1, S2 или S3 и употреблении в S2 отдельно стандартной. Считается работающей машиной данной мощности для которой выбираются разработанные двигатели для S1, S2 и S3.

УДК 621.313.3: 621.3.015

СИЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ
ДЕФОРМИРУЮЩИЙ РЕЖИМ

Бэлан, Т. и др.: **Содействия при анализе работы конденсаторов из компенсирующих установок коэффициента мощности в деформирующем режиме.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** № 7, окт. 1988 г., стр. 276

Считая характеристики поглощения силовых конденсаторов установок компенсации коэффициента мощности усвояемых с характеристиками полярных жидких диэлектрик, устанавливаются угодные отношения при расчёте их поведения в деформирующем режиме. Предлогаются коэффициенты перегрузки силы, напряжения и потерей, отличающихся представленным с библиографии.

INHALT

DK 621.365.2: 621.3.016

ENERGIEQUELLEN
SONNENÖFEN

Zaides, E.: **Sonnenöfen — eine mögliche Erhaltungslösung einiger feiner Materialien die in der elektrotechnischen und elektronischen Industrie verwendet sind.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 7, Okt 1988, S. 241

Es wird eine Anwendung, die die Sonnenenergie-Sonnenöfen — anwenden dargestellt, mit deren Hilfe bestimmte Fortschritte im elektrotechnischen Materialienbereich erhalten werden bezüglich der Feinheit einiger Materialien mit breiter Anwendung in der Elektrotechnik und Electronik durch Zonenschmelzung, Schmelzung im Va kum u.s.w.

DK 621.313.2: 621.319.7

PHOTOVOLTAISCHE GENERATOREN
AKTIVER KATODISCHER SCHUTZ

Olariu, N., Lauci, E., Vlad, M.: **Anwendung der Photovoltaischen Quellen beim aktiven katodischen Schutz der begrabenen metallischen Strukturen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 7, Okt 1988, S. 250

Die Arbeit bezieht sich auf die Vergütigung im energetischem Sinn der Effizienz des katodischen Schutzes durch die Anwendung einer grossen Anzahl von Einrichtungen die mit photovoltaischen Generatoren ausgerüstet sind.

DK 620.91/92

ÄOLIANISCHE UND SONNENENERGIE

Teodorescu, L., Zaides, E., Ion, R.: **Anwendung der äolianischer und Sonnenenergie in der Chemie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 7, Okt. 1988, S. 256

Es werden die experimentellen Ergebnisse die in I.C.P.E. erhalten wurden in Zusammenarbeit mit IECB — ICECHIM bezüglich der Verwertung einiger Abfälle in der chemischen Industrie mit Hilfe der äolianischen und Sonnenenergie, dargestellt.

DK 621.436: 621.313.2

MOTOR DIESEL-GENERATOR
DYNAMISCHES VERHALTEN
ÜBERTRAGUNGSFUNKTIONEN

Ghiță, Viorel-Vladimir: **Dynamik des Ensambles synchronischer Motor Diesel-Generator.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 7, Okt 1988, S. 261

Es wird eine einheitliche Beschreibung der Dynamik Motor Diesel-Generator, mit der Erhaltung der Übertragungsfunktionen. Das Ensamble besteht im Verhältnis mit einem Winkel Bezugssystems einheitlich mit dem statorischem Feld (Spannung bei den Stangen); das ist ein einheitliches Bezugssytem für elektrische und mechanische Grössen der im parallel gekoppelten Gruppen an einem infiniten oder insularen Systems.

DK 681 — 83:531.5

ELEKTRISCHE BETRIEBE
ENTWURF

Manolea, Gh. u.a.: **Auswahl und Kontrolle der Leistung elektrischer Motoren wobei diese in S2 betrieben werden.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 7, Okt. 1988, S. 270

Die Arbeit erklärt analytisch und beschreibt ein Algorythmus für die Auswahl und Kontrolle bei einer thermischen Überladung der elektrischen Betriebsmotoren, die für Service S1, S2 und S3 gebaut sind und die für S2 verwendet werden; S2 ist verschieden von demjenigen standardisierten. Der Motor ist eine Arbeitsmaschine, mit gegebener Leistung für die man gebaute Motoren für S1, S2 und S3 auswählt.

DK 621.313.3: 621.3.015

LEISTUNGSKONDENSATOREN
DEFORMIERTES REGIME

Bălan, T. u.a.: **Beiträge bezüglich der Betriebsanalyse der Kondensatoren in den Kompensationseinrichtungen des Leistungsfaktors im deformiertem Regime.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 7, Okt. 1988, S. 276

Wenn man die Absorbtionscharakteristiken der Leistungskondensatoren in Betracht zieht aus den Kompensationseinrichtungen des Leistungsfaktors als assimilerbar annimmt mit denjenigen der polaren flüssigen Dielektrika, werden gute Verhältnisse im Verhalten im deformierten Regime, festgestellt. Es werden Überladungskoeffizienten in Leistung. Spannung und Verluste, verschieden von denjenigen aus der Literatur, vorgeschlagen.

CONTENTS

DC 621.365.2 :621.3.016

POWER SUPPLIES
SOLAR OVEN

Zaides, E.: **Solar ovens — a possible solution to obtain some high purity materials used in electrical engineering and electronics industry.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct. 1988, p. 241

One of the applications using solar energy-solar oven is presented. Special progresses will be obtained with solar ovens in the fields of electrical engineering materials, of purification of some materials having large applications in electrical engineering and electronics, through zone melting, vacuum melting etc.

DS 621.313.2 :621.319.7

PHOTOVOLTAIC GENERATORS
ACTIVE CATHODIC PROTECTION

Olariu, E., Lauci, E., Vlad, M.: **Use of photovoltaic supplies in active cathodic protection of burried mettalic structures.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 250

This paper refers to the improvement of cathodic protection efficiency — from an energetic point of view, by using an increased number of installations provided with photovoltaic generators.

DC 620.91/92

SOLAR AND WIND ENERGY
Teodorescu, L., Zaides, E., Ion, R.: **Applications of solar and wind energy in chemistry.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 256

Experimental results obtained by ICPE in cooperation with IECB — ICECHIM concerning the turning into account of some wastes from the chemical industry by means of solar ans wind energy are presented.

DC 621.436 :621.313.2

DIESEL MOTOR GENERATOR
DYNAMIC BEHAVIOUR
TRANSFER FUNCTIONS

Ghiță Viorel-Vladimir: **Dynamics of diesel motor — synchronous generator assembly.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 261

A unitary description of the dynamics of Diesel motor synchronous generator groups is made, materialized in obtaining transfer functions.
The assembly is modelled according to an angular reference system tied — in with a statoric rotating fields (voltage at bars), a unique reference system for electrical and mechanical variables of parallel coupled groups to an insular or infinite system.

DC 621—83 :531.5

ELECTRIC DRIVES
DESIGN

Manolea, Gh. ş.a.: **Selection and checking of electrical motor power, operating in S2 service.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 270

This paper analytically justifies and presents an algorithm for the selection and checking of driving electrical motors, made for S1, S2 or S3 services and used in S2 service at thermal overload different from the standardized one. A given power working machine is considered for which motors made for services S1, S2 and S3 are selected.

DC 621.313.3 :621.3.015

POWER / CAPACITORS
DISTORTING STATE

Bălan, T. ş.a.: **Contributions regarding the analysis of capacitors operation in the power factor compensation in distorting state equipment.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 7, oct 1988, p. 276

Absorbing characteristics of power capacitors in power factor compensation equipment are considered as being assimilated with liquid polar dielectrics. Useful relations in computing their behaviour in distorting state are established. Now overload coefficients in power, voltage and losses different from those in literature, are presented.

SOMMAIRE

CD 621.365.2: 621. 3.016

SOURCES D'ÉNERGIE
FOURS SOLAIRES

Zaides, E.: **Fours solaires — une solution possible pour obtenir des matériels de haute pureté utilisés dans les industries électrotehnique et électronique.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 241

On présente une des applications qui utilisent l'énergie solaire — les fours solaires — á l'aide desquels il est possible de réaliser a l'avenir des progrès importants dans le domaine des matériels électrotechniques, de la purification des matériels ayant de larges applications dans l'électrotechnique et l'électronique, par l'intermédiaire de la fusion par zones, la fusion dans le vide etc.

CD 621.313.2: 621.319.7

GÉNÉRATEURS PHOTOVOLTAIQUES
PROTECTION CATHODIQUE ACTIVE

Olariu, N., Lauci, E., Vlad, M.: **L'utilisation des sources photovoltaïques dans la protection cathodique active des structures métalliques enterréss.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 250

L'ouvrage traite du perfectionnement du point de vue énergétique de l'efficience de la protection cathodique par l'intermédiaire de l'utilisation d'un nombre accru d'installations équipées avec des générateurs photovoltaïques.

CD 620.91/92

ÉNERGIE SOLAIRE ET ÉOLIENNE

Teodorescu, L., Zaides, E., Ion, R.: **Applications de l'énergie solaire dans la chimie.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 256

On présente les résultats expérimentaux obtenus par ICPE en collaboration avec IECB — ICECHIM dans le domaine de la valorification de certains déchets de l'industrie chimique a l'aide de l'energie solaire et éolienne.

CD 621.436: 621.313.2

MOTEUR DIESEL-GÉNÉRATEUR
COMPORTEMENT DYNAMIQUE
FONCTIONS DE TRANSFERT

Ghiță Viorel-Vladimir: **La dynamique de l'ensemble moteur diesel-générateur synchrone.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 261

On réalise une description unitaire de la dynamique des groupes moteur diesel-générateur synchrone, matérialisée dans l'obtention des fonctions de transfert. L'ensemble est modelé par rapport a un système de référence angulaire solidaire avec le champ rotationnel du stator (tension aux bornes), système de référence unique pour les grandeurs électriques et mécaniques des groupes couplés en parallèle a un système infini ou insulaire.

CD 621 — 83: 531.5

ENTRAINEMENTS ÉLECTRIQUES
CONCEPTION

Manolea, Gh. et. al: **La sélection et la vérification de la puissance des moteurs électriques qui fonctionnent dans le service S2.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 270

Dans l'ouvrage on argumente d'une manière analytique et on présente un algorithme pour la sélection et la vérification, en conditions de surcharge thermique, des moteurs électriques d'entraînement, construits a l'intention des services S1, S2 ou S3 et utilisés dans le service S3, un service différent par rapport à celui standardisé. On considère une machine de travail ayant une puissance donnée a l'intention de laquelle on choisit des moteurs construits pour S1, S2 et S3.

CD 621.313.3: 621.3.015

CONDENSATEURS DE PUISSANCE
REGIME DEFORMANT

Bălan, T. et al: **Contributions à l'analyse du fonctionnement des condensateurs des installations de compensation du facteur de puissance en régime déformant.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 7, oct 1988, p. 276

Tout en considérant les caractéristiques d'absorbtion des condensateurs de puissance des installations de compensation du facteurs de puissance comme étant assimilables à celles des diélectriques polaires liquides, on établit des relations utiles dans le calcul de leur comportement en regime déformant. On propose des coefficients de surcharge de puissance, tension et pertes, différents par rapport a ceux qui sont cités dans la littérature de spécialité.

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 7

CZ 621.365.2: 621.3.016

SURSE DE ENERGIE
CUPTOARE SOLARE

Cuptoarele solare, o soluţie posibilă de obţinere a unor materiale de înaltă puritate folosite în industriile electrotehnică şi electronică

EMILIAN ZAIDES * BUCUREŞTI

Introducere

Impasul energetic al deceniului al şaptelea a determinat, pe lîngă schimbarea radicală a atitudinii faţă de sursele clasice energetice şi reactualizarea unor vechi procedee şi tehnologii care au la bază sursele „noi" de energie, nepoluante şi inepuizabile: energia soarelui şi a vîntului.

Pentru a exemplifica amploarea acestora, se vor cita cîteva date [1]:

— consumul mondial zilnic de energie în 1974 era de $1{,}8 \cdot 10^{11}$ kWh;

— Soarele emite $3{,}8 \cdot 810^{23}$ kW din care $2{,}9 \cdot 10^{15}$ kWh ating suprafaţa Pămîntului; deci consumul zilnic reprezintă 1/16 000 din cît primeşte Pămîntul de la Soare;

— în fiecare şase secunde Pămîntul primeşte mai multă energie de la Soare decît consumă întreaga omenire în 24 ore.

Mai mult, „Solaristica" a pus o serie de probleme în domeniul materialelor şi tehnologiilor noi, contribuind ea însăşi la rezolvarea unor probleme din alte domenii.

Una din aplicaţiile ce folosesc energia solară, şi care a stîrnit un viu interes pe plan ştiinţific, o constituie cuptoarele solare cu ajutorul cărora s-au putut realiza o serie de experimente: obţinerea unor materiale, încercări la şocuri termice mari, reacţii în gaze, reacţii de sinteză pentru obţinerea de substanţe organice, obţinerea hidrogenului, gazeificarea cărbunelui, conversia energiei solare în energie electrică cu ciclu termodinamic clasic [2].

1. Probleme generale ale cuptoarelor solare

În general, prin cuptor, se înţelege o instalaţie termică în care are loc, prin încălzire, o transformare fizică, chimică sau fizico-chimică a unor materiale ce pot avea structuri şi compoziţii diferite; după topire ele vor avea proprietăţile cerute sau vor fi apte pentru prelucrări ulterioare [3].

Denumirea de cuptor solar se dă unui sistem termic format în principal dintr-o instalaţie de captare-concentrare a energiei solare şi un receptor termic (cuptorul) situat în zona focală, în care se obţine temperatura de lucru.

Tipurile reprezentative de cuptoare solare sînt prezentate în figurile 1—3.

Cea mai simplă construcţie este prezentată în figura 1.

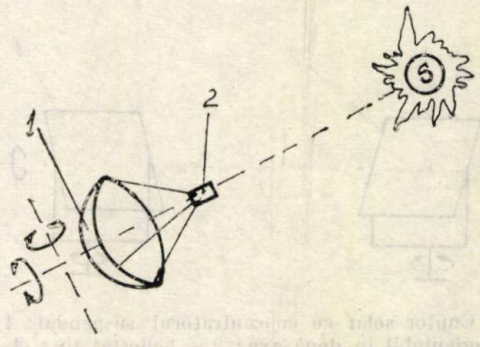


Fig. 1. Cuptor solar orientabil în două axe.

Radiaţia solară este concentrată de paraboloidul de rotaţie *1* şi reflectată în focar asupra cuptorului propriu-zis *2*. Sistemul are un mecanism de orientare după soare în două axe.

Celelalte tipuri de cuptoare solare (fig. 2,3) construite în lume, folosesc cel puţin un element intermediar de reflexie între soare şi concentrator, un heliostat, pentru a permite cuptorului să ocupe o poziţie convenabilă de lucru.

În această configuraţie, cuptorul se află tot timpul în poziţie de lucru orizontală.

Construcţia din figura 3 se poate justifica numai la cuptoare de puteri şi dimensiuni

* *Emilian Zaides* — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — ICPE — Bucureşti.

mici (2÷5 kW și 2,5÷4 m deschidere), pentru că implică suspendarea concentratorului.

În acest aranjament, cu concentratorul suspendat, poate lipsi heliostatul fix 1, caz în care heliostatul 2 devine mobil în două axe pentru urmărirea Soarelui.

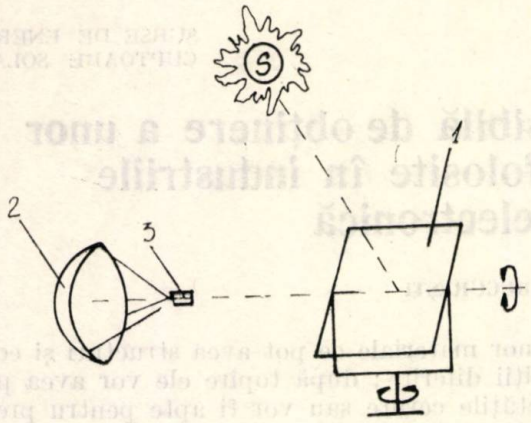


Fig. 2. Cuptor solar cu ax orizontal: 1 — heliostatul, ce urmărește soarele în două axe; 2 — concentratorul parabolic fix de radiație; 3 — cuptorul propriu-zis.

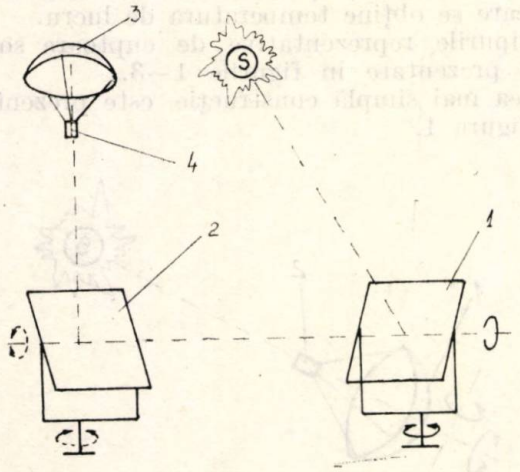


Fig. 3. Cuptor solar cu concentratorul suspendat: 1 — heliostat orientabil în două axe; 2 — heliostat fix; 3 — concentrator parabolic fix de radiație; 4 — cuptorul solar propriu-zis.

După Al. Dănescu [4], densitatea puterii radiante din imaginea Soarelui, E_f, și, respectiv, temperatura maximă ce se poate atinge într-un cuptor solar pentru un receptor plan au expresiile:

$$E_f = 46{,}1\ 10^3 \cdot R_d \cdot D_a \cdot E_o \cdot \sin\theta_{max},$$

$$T_{max} = T_S \left[R_d \cdot D_a \cdot \frac{A_n}{\varepsilon_n}(1-\cos^3\theta_{max}) \right]^{1/4}, \quad (1)$$

unde: E_o este constanta solară, 1 353 W/m²;
R_d — factorul energetic global de reflexie direcțională a heliostatului (elor) și oglinzii parabolice;
D_a — factorul energetic de transmisie a atmosferei la locul de instalare a cuptorului;
θ_{max} — unghiul de deschidere al concentratorului parabolic;
T_S — temperatura soarelui ≃ ≃ 5 800 K;
ε_n — factorul energetic de emisie al receptorului plan: $\varepsilon = \varepsilon_n \cos\theta$;
A_n — factorul de absorbție la incidență normală.

Factorul de concentrare al unui paraboloid se poate defini cu ajutorul expresiei [4]:

$$C = \frac{E_f}{R_d \cdot D_a \cdot E_o} = 46{,}1 \cdot 10^3 \cdot \sin^2\theta_{max}. \quad (2)$$

Puterea totală concentrată de oglindă în imaginea Soarelui are expresia [4]:

$$P_f = \pi \cdot R_d \cdot D_a \cdot E_o \cdot f^2 \cdot \sin^2\theta_{max}, \quad (3)$$

pentru cuptoare solare la care, în focar, se află cuptorul propriu-zis ce umbrește o parte din oglindă, expresia (3) devine:

$$P_f = \pi \cdot R_d \cdot D_a \cdot E_o \cdot f^2 \cdot (\sin^2\theta_{max} - \sin^2\theta_1), \quad (4)$$

unde θ_1 este coordonata unghiulară a imaginii umbrei obiectului pe oglindă.

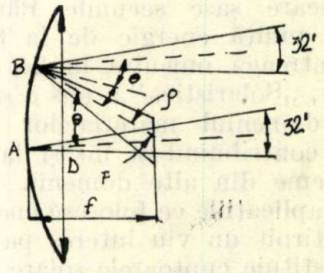


Fig. 4. Principalele mărimi geometrice ale concentratorului solar.

Alt parametru important ce influențează performanțele cuptoarelor solare este randamentul concentrării η_{conc}, definit astfel:

$$\eta_{conc} = \left(\frac{1+\cos\theta}{2} \right)^2, \quad (5)$$

ținînd seama că: $\frac{D}{f} = \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}$,

unde: D este deschiderea paraboloidului;
f — distanța focală.

Modulul de variație a temperaturii maxime posibil de obținut, funcție de unghiul de deschidere θ al oglinzii parabolice este prezentat în figura 5 în cazul unui receptor plan și în condiții ideale.

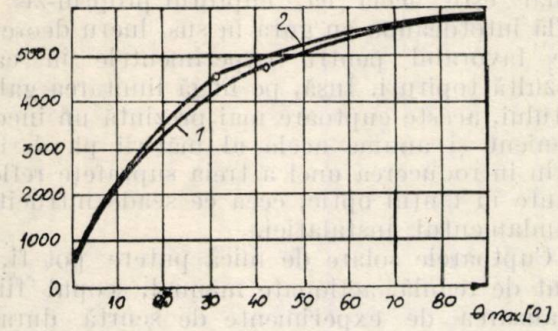


Fig. 5. Variația temperaturii maxime funcție de unghiul de deschidere.

Din figură se observă că temperatura maximă se obține pentru un unghi de deschidere al paraboloidului $\theta_{max} = 90°$.

Indicele de perfecțiune geometrică reprezintă un parametru de mare importanță în caracterizarea cuptoarelor solare și se poate defini astfel [4]:

$$\gamma = \left[\frac{T^e_{\max\ real}}{T_S}\right]^4 \cdot \frac{1}{R_d \cdot D_a \cdot \sin^2\theta_{\max}} \cdot \qquad (6)$$

Indicele de perfecțiune geometrică influențează temperatura maximă și densitatea puterii ridicate în focarul cuptorului după cum se poate vedea în figura 6.

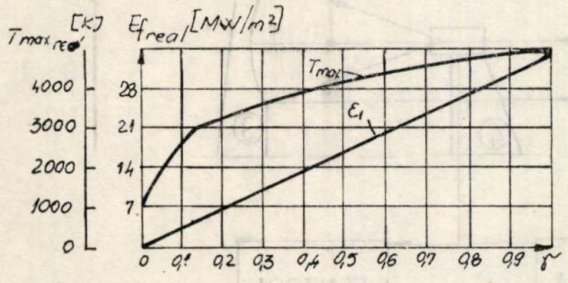


Fig. 6. Influența factorului de perfecțiune geometrică asupra parametrilor cuptorului solar.

Din relația (6) se poate deduce că se pot obține temperaturi destul de ridicate (cca. 3 000 K) în cuptoare solare relativ modeste ca performanțe optice.

Pentru a obține temperaturi de 3 500 K pînă la 4 900 K este necesară realizarea unor oglinzi de mare precizie geometrică și optică.

În general, există trei categorii de factori ce influențează temperatura maximă ce poate fi obținută într-un cuptor solar [4].

Prima categorie o reprezintă parametrii geometrici ai concentratorului parabolic și anume deschiderea D și distanța focală f.

Cu aceste valori fixate rezultă dimensiunile imaginii solare, factorul de concentrare, precum și valorile maxime ideale ale temperaturii și densității puterii radiante, indiferent de soluția constructivă aleasă pentru concentrator și de amplasament.

În cea de-a doua categorie intră factorii care influențează negativ performanțele cuptorului solar, avînd în vedere imperfecțiunile de realizare și caracteristicile amplasamentului: factorul energetic de reflexie direcțională a oglinzilor, indicele de perfecțiune geometrică a concentratorului parabolic și factorul energetic de transmisie a atmosferei.

Se poate vedea în figura 6 gradul de influență pe care îl are indicele de perfecțiune geometrică asupra parametrilor cuptorului solar.

A treia categorie cuprinde factorii legați de tipul receptorului termic: factorii energetici de absorbție și de emisie și pierderile termice.

Variația tempraturii maxime în plane paralele cu planul focal se prezintă în figura 7.

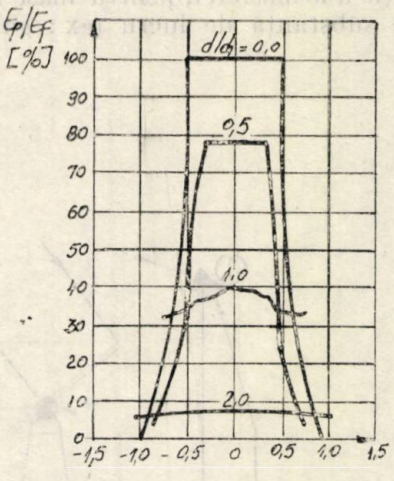


Fig. 7. Variația temperaturii maxime în plane paralele cu planul focal.

Rezultă că erori relativ mici de plasare a cuptorului în focar pot duce la scăderea rapidă a temperaturii ce se așteaptă a fi obținută.

2. Analiza critică a diferitelor soluții date pentru construcția cuptoarelor solare

Prezentarea tipurilor constructive din figurile 1 — 3, permite evidențierea unor caracteristici de bază ale acestora.

2.1. *Cuptor solar orientabil în două axe*:

— se poate realiza o gamă largă de experimente cu acest tip de cuptor;

— costul lui este mic, ceea ce îl face un instrument de laborator simplu de realizat și folosit.

Astfel de cuptoare sînt folosite în multe laboratoare din lume, iar în unele țări (de exemplu în India) se preconizează folosirea lor

în mici ateliere manufacturiere de prelucrare a metalelor [2], [5, 6, 7].

Cu astfel de cuptoare, deşi de mici dimensiuni şi puteri (1,5÷3 m diametru şi 1—3 kW), s-au realizat experimente avînd un evident caracter practic, cum ar fi, obţinerea de molibden pornind direct de la minereul brut de molibdenită [8].

2.2. *Cuptor solar cu ax orizontal*

În această configuraţie cuptorul se află tot timpul în poziţie orizontală de lucru, prezentînd următoarele avantaje :

— se pot realiza cuptoare de mari dimensiuni şi, deci, de putere foarte mare (ex. US Army, White Sands Missile Range, New Mexico, 23 kW şi Odeillo Font Romeu, Franţa, 42 kW) [9, 10];

— se pot realiza orice fel de experimente, în orice condiţii de presiune, temperatură şi compoziţie a atmosferei, pentru mase şi volume mari de substanţă de lucru (ex : gazeificarea cărbunelui sau obţinerea benzinei sintetice) [11, 12].

2.3. *Cuptor solar cu concentratorul suspendat*

Avantajul esenţial al acestui tip de cuptor solar este acela că, cuptorul propriu-zis se află întotdeauna cu gura în sus, lucru deosebit de favorabil pentru experimentele în care rezultă topituri. Însă, pe lîngă limitarea gabaritului, aceste cuptoare mai prezintă un inconvenient şi anume acela al măririi pierderilor prin introducerea unei a treia suprafeţe reflectante în lanţul optic, ceea ce scade întrucitva randamentul instalaţiei.

Cuptoarele solare de mică putere pot fi, şi sînt de regulă, acţionate manual, scopul fiind realizarea de experimente de scurtă durată, ceea ce implică o aparatură simplă şi volume mici ale incintei de lucru a cuptorului, sau obţinerea unor aliaje sau materiale uşor fuzibile.

Cuptoarele solare de dimensiuni şi puteri mari funcţionează însă în instalaţii complexe, asigurînd un control riguros al parametrilor instalaţiei (fig. 8).

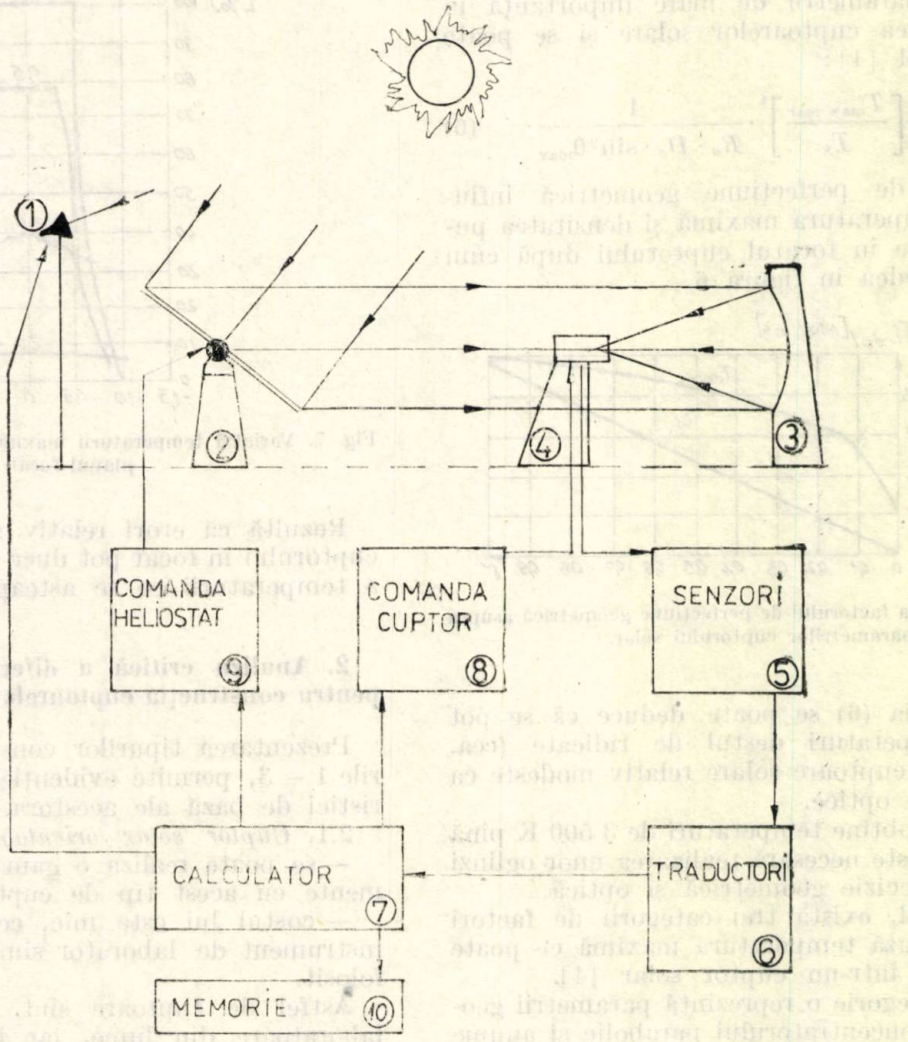


Fig. 8. Schema-bloc de funcţionare a unui cuptor solar.

Tabelul 1

Caracteristicile unor cuptoare solare construite în lume

Tipul cuptorului solar	Locul în care funcţionează		Temperatura de lucru	Ref. bibl.	Caracteristicile geometrice ale cuptorului			Anul inaugurării
	Ţara	Localitatea			Deschidere paraboloid	Dist. focală	Pata focală	
—	—	—	°C	—	m²	m	mm	—
1 Cuptor solar orientabil în două axe	1 Japonia	Nagoya	3 400	4	1,5	0,65	—	1958
	2 India	Bangalore	1 000	13	3	—	15	1978
	3 India	Bangalore	500	13	0,5	—	—	1978
	4 SUA	Menlo Park	—	4	12,56	—	—	
2 Cuptor solar cu ax orizontal	5 SUA	San Diego	3 100	4	1,5	0,66	—	1952
	6 Franţa	Odeillo	3 500	10	138,24	10,75	—	1970
	7 SUA	White Sands	4 500	9	64,8	11,0		
	8 Japonia	Nagoya	3 000	14	1,5	0,64	14	
	9 Japonia	Nagoya	3 000	15	1,5	0,65	14	
	10 Australia	Maryland	3 000	4	12,56	—	—	
3 Cuptor solar cu concentratorul suspendat	11 Franţa	Montlouis	2 200	4	2	0,75	—	1949
	12 Franţa	Montlouis	3 100	4	2	0,85	—	1958
	13 Franţa	Odeillo	2 000	2,8	3	—	10	1974

Astfel, cu ajutorul traductorului de poziţie a Soarelui *1*, se comandă heliostatul *2*, care reflectă radiaţia în concentratorul parabolic *3*, de unde radiaţia solară concentrată este dirijată spre cuptorul propriu-zis *4*; temperatura cuptorului este sesizată de o reţea de senzori *5*, care prin intermediul unor traductoare *6*, în urma comparării cu datele existente în calculatorul *7*, funcţie de cerinţele procesului ce se desfăşoară în cuptor, ajustează parametrii de funcţionare ai acestuia, blocul *8* intervenind eventual asupra sistemului de urmărire a Soarelui *9*.

Istoricul întregului proces este trecut pe memoria *10*.

Multe laboratoare din lume s-au preocupat de realizarea cuptoarelor solare, cîteva exemple fiind date în tabelul 1, unde au fost grupate, pe tipuri, unele dintre cele mai reprezentative realizări.

Printre primele cuptoare solare se numără cele din Montlouis (Franţa) şi Nagoya (Japonia).

Dimensiunile lor mici arată oarecare reticenţe ale specialiştilor privind posibilităţile unor astfel de instalaţii, precum şi caracterul pur experimental al acestora.

Încurajaţi de primele reuşite (confirmate de gama mare de studii şi experimentări realizate cu aceste cuptoare) au apărut marile instalaţii complexe, multifuncţionale, de mare acurateţe tehnică; ele au înglobat un efort intelectual şi financiar însemnat; construcţia lor este considerată o reuşită datorită rezultatelor obţinute [9, 10].

Din punct de vedere cronologic şi tehnic, ultimele tipuri de cuptoare tind să devină specializate, destinate anume unui singur scop.

Ilustrativ pentru aceasta este experimentul realizat la ODEILLO cu un cuptor solar de 2 kW, destinat obţinerii molibdenului direct din minereul de molibdenită la puritatea cerută de aplicaţiile acestuia în industrie [8].

O altă aplicaţie care poate reţine atenţia este aceea a cercetătorilor indieni, privind realizarea de cuptoare solare de mici dimensiuni, destinate unor ateliere meşteşugăreşti [13].

Sînt interesante şi seriile de experimente realizate în Japonia, axate pe studiul materialelor refractare, sau al pămînturilor rare, destinate anume unor aplicaţii din industriile electrotehnică şi electronică [14, 15, 16].

În concluzie, se poate afirma că, formula care va duce la o utilizare judicioasă, din punct de vedere economic, este aceea a instalaţiilor specializate, în care se pot urmări cu stricteţe parametrii tehnico-economici ai procesului.

3. Analiza critică şi posibilităţile de utilizare a diferitelor tipuri de cuptoare solare

Cuptoarele solare au suscitat interesul cercetătorilor în ultimii ani, în special al celor ce lucrează în domeniul materialelor, întrucît ele oferă condiţii de lucru şi o serie de avantaje unice din care se amintesc:

— intervalul temperaturilor de funcţionare este, pentru toate cuptoarele solare, de la sute de grade Celsius pînă la circa 3 500°C, iar pentru cele de putere mare, sau cu un factor

de concentrare ridicat, chiar 4 500°C, temperaturi ce se ating aproape instantaneu, şi care sînt imposibil de obţinut în cuptoarele cu combustibil clasic, sau la un preţ de cost foarte ridicat la cuptoarele electrice cu inducţie şi la instalaţiile cu fascicul de electroni [9, 10]; ca o consecinţă deosebită a acestui fapt, se pot realiza, cu ajutorul cuptoarelor solare, încercări la şocuri termice mari (3,77 MW/m², WHITE SANDS), precum şi purificări prin topire zonară [9];

— în timp ce la cuptoarele cu combustibil sau electrice, sistemele de agitare a mediului sînt complicate, la cuptoarele solare s-au realizat o serie de dispozitive simple ce permit intervenţii asupra materialului de lucru la temperaturi de peste 3 000 K, acest lucru fiind şi o consecinţă a faptului că accesul la materialul de lucru este foarte simplu [2], [17];

— gradul de puritate deosebit de ridicat ce se poate obţine cu ajutorul cuptoarelor solare, pornind, în multe cazuri, chiar de la materia primă brută, avînd posibilitatea de a lucra în atmosferă controlată, în diferite condiţii de presiune, încălzirea efectuîndu-se direct asupra creuzetului [8].

Aceste particularităţi pe care le prezintă au o importanţă deosebită, căci, spre deosebire de cuptoarele cu flacără unde materialul de lucru vine în contact fie cu produsele de ardere, fie cu creuzetul încălzit, la cuptoarele solare sînt excluse aceste limitări [3], [18].

În cazul cuptoarelor electrice cu rezistenţă sau la încălzirea prin inducţie rezistorul limitează temperatura de lucru, iar materialul sau creuzetul trebuie să fie bune conducătoare de electricitate, caz în care apar din nou limitări de temperatură sau eventual, impurificări [17].

În ceea ce priveşte topirea cu fascicul de electroni, procedeul este limitat deoarece se poate desfăşura numai în vid, ceea ce scumpeşte soluţia, iar sub aspect tehnic este mult mai complicat decît un cuptor solar, avînd totodată şi un consum energetic foarte mare [17].

Ca o consecinţă a celor analizate anterior, nu există limitări privind diversitatea materialelor ce pot fi obţinute folosind cuptoarele solare, tabelul 2 indicînd cîteva din realizările în acest domeniu.

Deşi în tabelul 2 se urmăreşte punerea în evidenţă a diversităţii de materiale testate în cuptoarele solare, se constată însă în bibliografia existentă o afinitate deosebită pentru studiul materialelor din grupa pămînturilor rare datorită importanţei deosebite pe care o au aceste materiale în industriile electrotehnică şi electronică.

O analiză a consumurilor de energie pe care le-ar putea înlocui cuptoarele solare este dată în tabelul 3, consumurile fiind exprimate în kWh pentru tona de material obţinut.

Sînt prezentate în tabelul 3 cîteva procese tehnologice şi consumurile de energie aferente acestora.

Analizind consumurile de energie, se observă variaţii foarte mari ale acestora funcţie de materialul şi de procesul tehnologic folosit pentru purificare.

La alegerea unui material pentru purificarea căruia se recomandă folosirea energiei solare, consumul de energie convenţională trebuie să fie mare, producţia zilnică de material prelucrat să fie mică, permiţînd o eventuală preluare în totalitate, pe seama energiei solare.

După evidenţierea acestor avantaje, se cuvine să fie puse în evidenţă şi principalele dezavantaje ale cuptoarelor solare;

— cu toate calităţile enumerate, un cuptor solar nu este eficient dacă nu este soare, deci aceste instalaţii sînt potrivite să fie folosite în regiunile globului cu mult soare şi care, dispun şi de bogate zăcăminte de metale rare.

Tabelul 2

Topirea unor materiale cu ajutorul cuptoarelor solare

Nr. crt.	Procedeul şi materialul folosit, rezultatul experimentului	Temperatura de topire, °C	Autorul cercetării	Ref. bibl.
1	Trecerea CdO în Cd metalic	1 200	Pangborn	[2]
2	Obţinerea molibdenului din molibdenită	1 400	S.R. Skaggs ş.a.	[8]
3	Vaporizarea SiO_2, Al_2O_3, FeO, CaO, MgO, K_2O, Na_2O	2 800	L. Walter şi J. Giutronich	[6]
4	Topirea La_2O_3	2 210±20	W. A. Lambertson, F. H. Gunzel Jr.	[15]
5	Topire aliaj cu 33,5% Cu	560	D. Suresh, P. K. Rohatgi	[13]
6	Topire Nd_2O_3	2 272±20	W. A. Lambertson, F. H. Gunzel	[15]
7	Topire Eu_2O_3	2 050±30	L. G. Wisnyl şi S. Pijanowski	[15]
8	Topire Gd_2O_3	2 330±20	L. G. Wisnyl şi S. Pijanowski	[15]
9	Topire Sc_2O_3	2 405	S. J. Schneider şi J. L. Waring	[15]
10	Topire Y_2O_3	2 458	O. Ruff	[15]

Tabelul 3

Consumuri energetice în cadrul unor procese tehnologice convenționale de topire a unor materiale [2], [7], [19], [24]

Nr. crt.	Material	Proces tehnologic	Consum de energie			Obs. aplicații
			kWh/t	kcal/t	kcal/g	
1	Antimoniu	Topire cu precipitație	800	675 200	0,675	—
2	Antimoniu	Topire electrică în vid	1 500 ÷ 3 000	1 266 000 ÷ 2 532 000	1,266 ÷ 2,532	—
3	Cobalt	Topire reducătoare	600 ÷ 750	506 400 ÷ 633 000	0,506 ÷ 0,633	Putere cuptor 2—3 MW Durata 12h/ciclu 43—55 % Co/h/ /șarjă
4	Calciu	Procedeul metalotermic 1 200—1 250°C	14 000	11 816 000	11,816	
5	Calciu	Rafinarea în vid la 0,1—0,2 atm.	7 000	5 908 000	5,908	Retorte de 100 kg 4—5 h/ciclu
6	Titan	Topirea buretului de titan în vid 10^{-2} torr creuzet de Cu	500 ÷ 1 000	422 000 ÷ 844 000	0,422 ÷ 0,844	Se obțin 0,5 kg Ti/min/1.000 A
7	Magneziu	Reducere cu siliciu în vid la 1 200°C	3 640	3 072 000	3,072	
8	Nichel	Topire în cuptor	350 ÷ 840 kWh/t șarjă	295 200 ÷ 709 000	0,295 ÷ 0,709	85—517 kW/m² vatră a cuptorului
9	Vanadiu și ferovanadiu	în două etape cu randament de obținere a Vanadiului de 35—40 % (reducerea cu siliciu)	8 360	7 056 000	7,056	—
10	Seleniu	Bidistilare la 350—400°C	3 000 ÷ 4000	2 532 000 ÷ 3 376 000	2,532 ÷ 3,376	Puritate 99,99 ÷ 99,994 Topire SeO_2 500 ÷ 550°C Topire — SeO_2 250 ÷ 275°C Topire zonară 220°C, 40 m/h
11	Galiu (după Landi)	Procedeul cu catod rotativ de mercur 48 ÷ 50°C electrolit NaOH	155 000	130 810 000	130,810	Producția de Galiu 35 ÷ 38 g/zi
12	Galiu	Procedeul cu catod fix de mercur: la 40 ÷ 60°C sol. conține 180 mg/l galiu și 500 mg/l pentoxid de Vanadiu, vol. soluției totale 4,8 m³ în vid se separă la catod 0,4—0,5 g Ga/dm²	85 700		72,330	Din 10 t bauxită cu 0,007 % Ga se obțin 700 g Galiu Se consumă 1 t mercur.

— soarele, ca sursă energetică, nu este disponibil tot timpul, ciclurile vara-iarna, noaptezi, alternează, ceea ce ar părea că limitează capacitatea reală a cuptoarelor solare de a intra în practica curentă a metalurgiștilor.

Aceasta însă nu constituie un impediment major; dimensionînd corect o astfel de instalație și încărcînd-o în mod judicios se poate realiza, în perioadele cu soare, un stocaj extrem de eficient sub forma materialelor purificate, stocaj care să asigure rentabilitatea instalației pe tot parcursul unei perioade de timp (de ex. un an).

4. Realizări în domeniul cuptoarelor solare

Unele din realizările semnificative în domeniul cuptoarelor solare sînt prezentate în cele ce urmează, iar acolo unde a existat posibilitatea, arătînd și fotografia sau schema instalației.

O astfel de instalație aflată în prezent în funcțiune este cuptorul solar instalat la U.S. Army White Sands Missile Range, avînd următorii parametri funcționali:

— puterea instalată — 23 kW;

— densitatea de putere radiantă — 1 000 000 W/m² = 100 Wcm²;

— concentratorul format din 180 oglinzi sferice de 60 × 60 cm, montate pe o ramă metalică de 9 m²;

— distanța focală — 11 m;

— heliostatul constă din 356 oglinzi plane, fiecare de 60 × 60 cm, montate pe o ramă metalică de 12 × 11 mm²;

— pata focală — 15 cm diametru;

— factor de concentrare — × 1 000;

— temperatura de lucru — circa 3 100°C;

— concentrator fix cu ax orizontal cu heliostat orientabil în două axe.

Ulterior, din această instalație a fost dezvoltat cel mai mare cuptor solar la Sandia Laboratories, New Mexico, avînd caracteristicile următoare [12]:

— puterea instalată: 5 MW;

— densitatea maximă de putere atinsă: 4,5 MW/m² = 450 W/cm²;

— diametrul petei focale : 5 cm ;
— temperatura de lucru : circa 4 500°C.

Cele două cuptoare sînt unități mari, costisitoare, dar care prin gama foarte mare de încercări și modurile de lucru pe care le permit și-au dovedit utilitatea.

Alte importante realizări sînt concentratorul și cuptorul instalației solare de la Laboratoire Centrale de l'Armament, Odeillo Font Romeu, Franța [10].

Caracteristicile instalației sînt :
— puterea maximă . . . 42 kW ;
— concentratorul este de tip fix cu ax orizontal, iar cîmpul de heliostate este format din oglinzi orientabile în două axe ;
— cîmpul de heliostate . . . 638 oglinzi plane de 60 × 60 cm ;
— concentratorul compus din 384 de oglinzi plane, ansamblul lor avînd o rază de curbură de 21,5 m ;
— distanța focală . . . 18 m ;
— temperatura maximă . . . 3 020°C.

Și cu această instalație s-au efectuat o serie foarte mare de încercări.

Pe lîngă unitatea mare, funcționează și un cuptor solar de mică putere avînd următoarele caracteristici :
— diametrul concentratorului . . . 1 m ;
— distanța focală . . . 2,93 m ;
— heliostatul compus din 12 oglinzi, avînd dimensiunile de 2,4 × 1,8 m² ;
— pata focală — 30 mm.

În figura 9 este prezentat un cuptor solar realizat la ICPE — București, avînd următoarele caracteristici :
— puterea maximă . . . 1 000 W ;
— deschiderea . . . 1,7 m ;

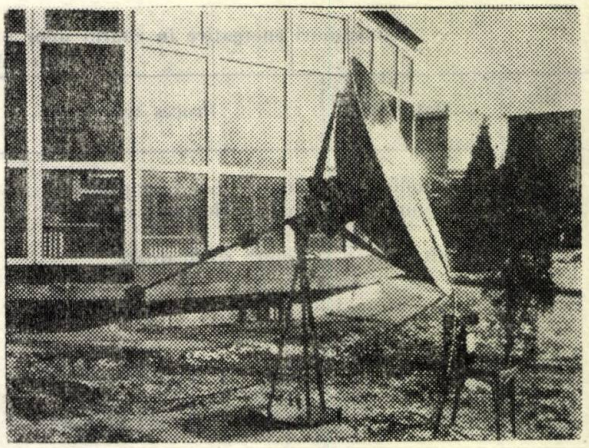


Fig. 9. Concentrator parabolic realizat la ICPE.

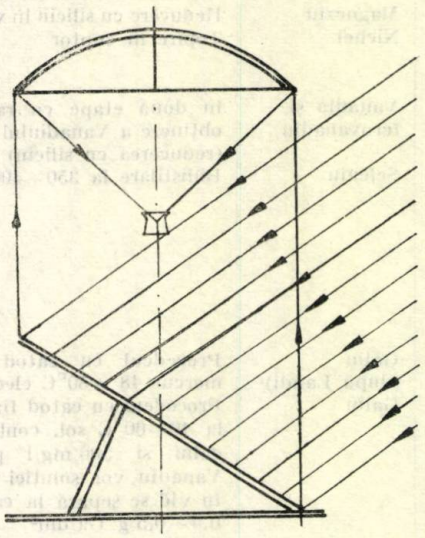


Fig. 10. Aranjament pentru cuptorul solar aflat în curs de realizare la ICPE.

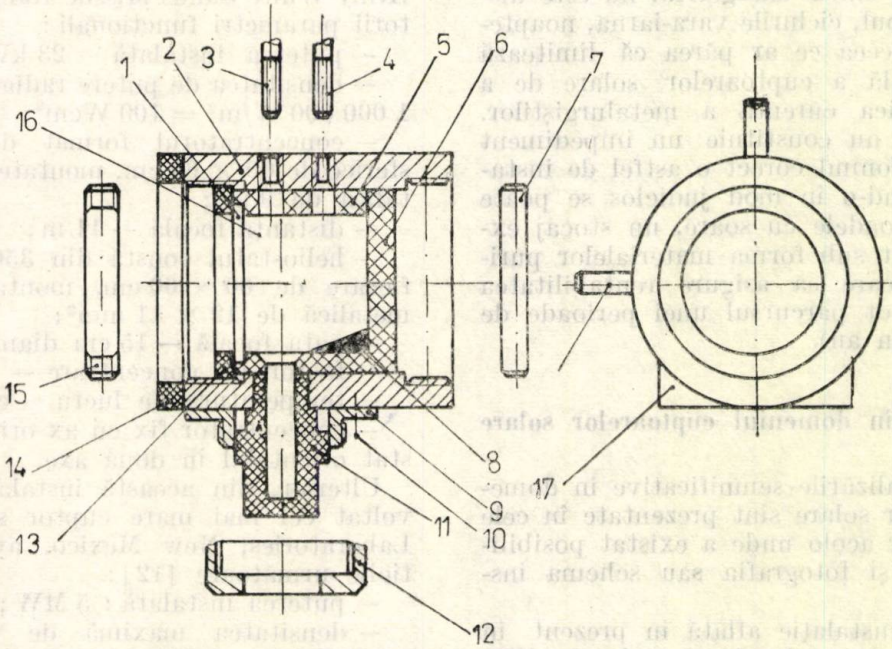


Fig. 11. Reprezentarea schematică a cuptorului propriu-zis de la ICPE.

— orientare după soare în două axe;
— temperatura maximă de lucru . . . 1 000°C;
— distanța focală . . . 0,8 m;
— pata focală . . . 4 cm².

Acest cuptor a fost folosit pentru producerea vaporilor suprasaturați.

Seria experimentărilor se încheie cu o variantă de cuptor solar ce se va realiza tot la ICPE, figura 10.

În figura 11 se prezintă o secțiune prin cuptorul propriu-zis.

Elementele componente ale acestui cuptor sînt:

1 — fereastră de acces din cuarț;
2 — corpul cuptorului;
3 — ștuț evacuare gaz inert;
4 — ștuț intrare gaz inert;
5 — izolație din ceramică;
6 — piesă de ceramică ce permite accesul în incinta de lucru;
7 — piuliță de etanșare a spatelui cuptorului;
8 — plan înclinat pentru așezarea materialului de lucru;
9 — piesă metalică de fixare și etanșare;
10 — șuruburi;
11 — vas colector pentru topitură, realizat din ceramică;
12 — piuliță strîngere vas colector;
13 — șaibă izolantă de ceramică;
14 — inel frontal de protejare a corpului cuptorului;
15 — piuliță de etanșare;
16 — incinta cuptorului;
17 — suport pentru așezarea vasului colector;
18 — ștuț pentru pompa de vid.

Experimentările cu acest cuptor vor începe n vara anului 1989.

5. Concluzii

Este evident că în etapa actuală nu se vor putea folosi cuptoare solare în metalurgia oțelului sau fontei, unde funcționează unități metalurgice cu capacități mari (sute de tone pe șarjă); într-un viitor nu prea îndepărtat, va putea fi însă realizată topirea fierului vechi, căci în acest caz, nu se cer temperaturi deosebit de ridicate (cca 1 200°C) și, deci, nici o precizie geometrică deosebită pentru sistemul optic al instalației solare.

Se pot găsi însă aplicații speciale, avînd un caracter particular, care, în general, sînt prohibitive prin cantitatea de energie implicată în procese sau prin tehnologia necesară, dar care sînt indispensabile pentru obținerea unor materiale folosite în industriile electrotehnică și electronică. Din bibliografia existentă pentru domeniul cuptoarelor solare, se poate remarca faptul că s-au obținut rezultate deosebite în obținerea unor metale rare extrem de scumpe (metale și oxizi din grupa lantanidelor, a metalelor platinice, W, V, Cr, Co, Cd, Te, materiale ceramice etc.), materiale ce trebuie obținute și la un nivel de puritate deosebit de ridicat (frecvent sub 10^{-6} — 10^{-9}% impurități), posibil de obținut în cuptoarele solare.

Folosirea cuptoarelor solare creează posibilitatea ca, în pași succesivi (prin realizarea unor noi materiale și a unor tehnologii noi pentru dezvoltarea acestora), să se realizeze progrese deosebite în domeniul materialelor electrotehnice, conturîndu-se deja, ca deosebit de atractivă, folosirea cuptoarelor solare la purificarea unor materiale cu largi aplicații în electrotehnică și electronică, prin topirea zonară și topirea în vid, creșterea cristalelor.

Poziția economică pe care o au cuptoarele solare în cadrul aplicațiilor surselor „noi" de energie este bine definită în opinia specialiștilor, în sensul că, este unanim recunoscută valoarea de stand de probe, iar pentru viitor valoarea unor mari instalații metalurgice de capacitate industrială. În aceste condiții, costul instalațiilor încetează să mai fie o problemă centrală, pe prim plan trecînd oportunitatea unui astfel de echipament, a momentului și domeniilor utilizării lui.

La ora actuală, cuptoarele solare au dovedit deja, acolo unde au fost realizate, că sînt un instrument de laborator de neînlocuit, constituind un stand unic de probă pentru elaborarea unor noi tehnologii de purificare pentru un grup mare de materiale.

Se poate aprecia că, în final, problema implementării cuptoarelor solare în industrie rezidă în proiectarea și construirea unor astfel de instalații la costuri unitare minime pentru o aplicație dată, adică la proiectarea și construcția cuptoarelor specializate, după modelul instalațiilor metalurgice clasice.

Autorul își propune să revină asupra acestei teme într-o lucrare viitoare, în care, pe lîngă analiza rezultatelor obținute în lume, în acest domeniu, să prezinte și realizări proprii rezultate din aplicarea tehnologiei cuptoarelor solare în țara noastră.

Bibliografie

[1] *Fraenkel, P.* The Power Guide, Intermediate Technology Publications Ltd, 1979.
[2] *Suresh, D., Rohatgi P. K., Coutures, J. P.*; In Rewiew Paper, Use of solar furnaces, solar energy, vol. **26**, 1981, p. 377—390.
[3] * * * Manualul inginerului metalurg, vol. **1**, București, Editura Tehnică, 1978.
[4] *Dănescu, Al., Bucurenciu, P., Petrescu, Șt.* Utilizarea energiei solare, București, Elitura Tehnică, 1980.
[5] *Bilgen, E., Bilgen, C.* Solar synthetic fuel production. În: International Journal of Hydrogen Energy, vol. **6**, 1981, p. 349—362.
[6] *Walter, L. S., Giutronich, J. E.* Vapour fractionation of silicate melts at high temperatures and atmospheric pressure. În: Solar Energy, vol. **11**, 1967, p. 163—169

[7] *Nataraja Murthy, S.* ș.a. Energy distribution in the focal region of an offsetfeed paraboloidal solar stove. În: Solar Energy vol. **34**, 1935, p. 279—285.
[8] *Skaggs, S.R., Coutures, P., Renard, R.* Treatment of molibdenite ore using a 2 kW solar furnace. În: Solar Energy, vol. **22**, 1979, p. 367÷381.
[9] *Matthews, L. K., Mulholland, G. P.* Technical note. În: Solar Energy, vol. **23**, 1979, p. 175—181.
[10] *Jaymes, M.* Les fours solaires du laboratoire Central de L'armement. În: Rev. Int. Htes. Temp. et Réfract. vol. **12**, 1975, p. 301—306.
[11] *Gregg, D. W.* ș.a.: Solar Gasification of Coal, Activated Carbon, Coke and Coal and Biomass Mixtures, Solar Energy, vol. **25**, 1980, p. 353—364.
[12] *Smith, K. R.*, Carbide fuel cycles, A. Mixture of solar energy and coal. Energy Sources, vol. **5**, 1980, p. 223—245.
[13] *Suresh, D., Kishors* și *Rohatji, P. K.* Working experience with a foundry solar furnace. În: Solar Energy, vol. **27**, 1981, p. 457—462.
[14] *Noguchi, T., Mizuno, M., Conn, W. M.* Fundamental research in refractary system with a solar furnace ZrO_2—CaO_2 system. În: Solar Energy, vol. **11**, 1967, p. 145—152.
[15] *Noguchi, T., Mizuno, M.* Freezing points of lanthanides oxides measured with a solar furnace. În: Solar Energy, vol. **11**, 1967, p. 90—94.
[16] *Noguchi, T., Mizuno, M.* Phase changes in solids measured in a solar furnace. În: Solar Energy, vol. **11**, 1967, p. 56—59.
[17] *Winkler, O., Bakish, R.* Vacuum metalurgy. Elsevier Publishing Company, 1971.
[18] * * * Manualul inginerului metalurg, vol. **2**, București, Editura Tehnică, 1982.

CZ 621.313.2: 621.319.7

GENERATOARE FOTOVOLTAICE
PROTECȚIE CATODICĂ ACTIVĂ

Utilizarea surselor fotovoltaice la protecția catodică activă a structurilor metalice îngropate

NICOLAE OLARIU, EDUARD LAUCI, MIHAI VLAD* BUCUREȘTI

Introducere

Anual se produc pierderi importante de metal datorate coroziunii structurilor metalice aflate în contact cu un electrolit cum ar fi solul sau apa (mai ales apa de mare).

Combaterea procesului de coroziune determină efecte economice importante nu numai din punct de vedere al pierderilor de metal ci, mai ales, din punct de vedere al creșterii duratei și siguranței în exploatare a instalațiilor protejate.

Coroziunea la suprafața metalului, prezentată schematic în figura 1, se datorează formării unor micropile galvanice locale, care conduc la două reacții conjugate [1]:

— reacția anodică, în urma căreia ionul metalic părăsește rețeaua cristalină, lăsînd o cantitate echivalentă de electroni;

— reacția catodică, care constă în reducerea unui agent oxidant capabil să accepte electronii rezultați în urma procesului anodic.

Dacă protecția anticorozivă se face prin izolarea structurii metalice cu materiale dielectrice (bitum, lacuri, vopsele, emailuri), protecția se numește pasivă, iar dacă se face prin compensare electrochimică, injectînd un curent electric din exterior, metoda se numește activă.

Protecția catodică activă cu injectare de curent constă în legarea structurii de protejat la borna negativă a unei surse de curent continuu (catod) în timp ce borna pozitivă a sursei se conectează la o serie de anozi (semiconsumabili) implementați în același electrolit (de obicei solul) (fig. 2).

* *Olariu, N., Lauci, E., Vlad, M.* Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) — București.

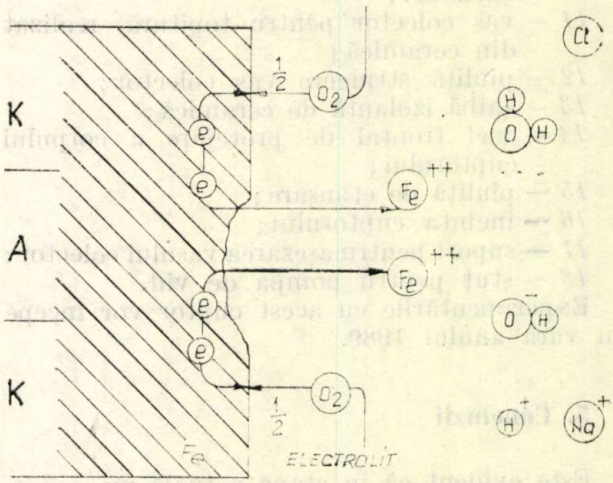


Fig. 1. Coroziunea la suprafața metalului.

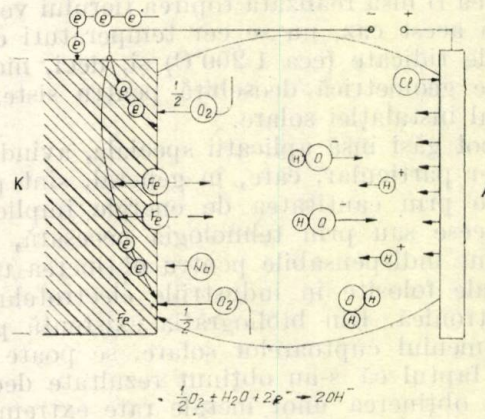


Fig. 2. Principiul protecției active cu injecție de curent.

Sub acțiunea curentului electric exterior, potențialul staționar se va deplasa către potențialul de echilibru al metalului protejat, inhibînd astfel procesul de coroziune.

Instalațiile de protecție anticorozivă, care folosesc această metodă, se pot clasifica în mai multe categorii, după natura surselor de curent continuu utilizate, astfel :

— cu redresoare alimentate din rețeaua de curent alternativ prin intermediul transformatoarelor ;

— cu generatoare de curent continuu acționate de motor cu ardere internă ;

— cu baterii de acumulatoare ;

— cu surse de energie neconvențională (generatoare termoelectrice, pile de combustie, generatoare fotovoltaice și eoliene).

Alegerea sursei se face în funcție de condițiile locale : accesibilitate, deservire, distanța de rețeaua de curent alternativ, teren etc.

Dezvoltarea sistemelor fotovoltaice a condus la apariția acestei alternative, atractivă și viabilă din punct de vedere economic, alternativă ce se impune prin avantajele majore ce le prezintă. În primul rînd, energia solară este gratuită și, practic, inepuizabilă, apoi este „curată" (complet nepoluantă).

Costul încă ridicat al acestor sisteme și randamentele de conversie relativ modeste (între 8 și 15% în instalațiile industriale și pînă la 27% în condiții de laborator) limitează gama de aplicabilitate la locuri izolate, departe de rețeaua de curent alternativ, acolo unde, sub aspect economic, utilizarea celorlalte variante este prohibitivă.

1. Descrierea generală a unei instalații de protecție catodică activă cu injecție de curent și generator fotovoltaic

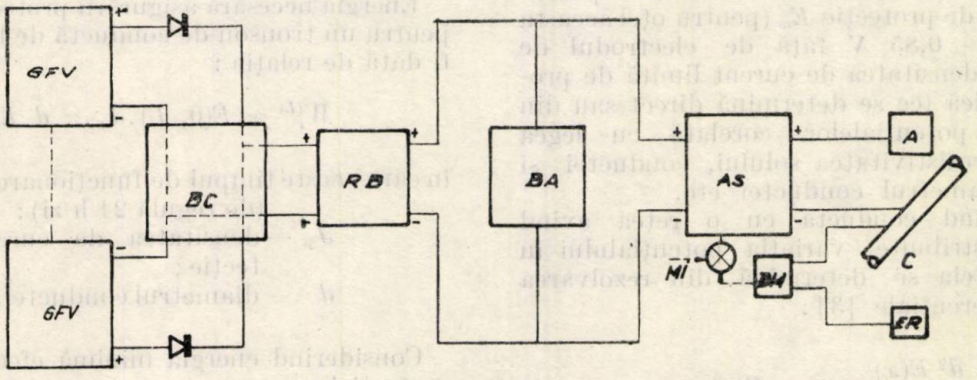
În general, un sistem fotovoltaic de protecție catodică este compus din trei părți : generatorul fotovoltaic, sistemul de stocare a energiei asociat cu etajul regulator și, respectiv adaptorul de sarcină (fig. 3) [2].

Generatorul fotovoltaic (*GFV*) realizează conversia directă a energiei solare în energie electrică și are o structură modulară ce permite o excelentă adaptare la necesarul de putere în punctul de injecție.

Bateria de acumulatoare (*BA*) are rolul de a stoca surplusul de energie furnizată de *GFV* și de a asigura consumul instalației pe timpul nopții și al perioadelor de însoliere scăzută. În instalațiile realizate practic s-au utilizat acumulatoare Pb-acid.

Regulatorul asociat *BA* are rolul de a preveni supraîncărcarea prin limitarea curentului debitat de *GFV* și, de asemenea, de a evita descărcarea profundă a acumulatoarelor decuplînd sarcina. Regulatorul (*RB*) corelează starea de încărcare a bateriei cu temperatura mediului.

Adaptorul de sarcină (*AS*) îndeplinește funcția de control și reglaj al curentului injectat în structura metalică în vederea menținerii potențialului de protecție la valoarea dorită. În esență, acesta este un convertor c.c-c.a. cu posibilitatea lucrului în regim manual (tensiune aplicată constantă sau curent injectat constant) și în regim automat prin utilizarea unei bucle de control al potențialului de protecție (sistem potențiostatic de referință cu element implantat în mediul coroziv).



LEGENDĂ :

GFV - generator fotovoltaic
BC - bloc cuplare
RB - regulator baterie
BA - baterie acumulatori
AS - adaptor sarcină
A - anod injecție
C - conductă de protejat
ER - electrod referință
BM - bloc măsură
MI - mărime impusă

Fig. 3. Instalație de protecție catodică cu sursă fotovoltaică. Schema-bloc.

Întregului ansamblu îi este atașat un sistem de semnalizare prin intermediul căruia se poate urmări funcționarea instalației.

2. Proiectarea și dimensionarea instalațiilor fotovoltaice de protecție catodică activă

Date fiind deosebirile majore structurale dintre sursele de curent continuu alimentate din rețea și sursele de curent continuu cu GFV, se impune ca la utilizarea acestora din urmă să se revizuiască întreaga strategie de proiectare.

Astfel, la sistemele clasice alimentate din rețea, prețul era, în principal, dependent de numărul de puncte de injecție, ceea ce duce la realizarea unor stații de protecție de puteri mari (sute de watti) și foarte depărtate (între 20 și 100 km), la care randamentul de protecție (scăzut) era un parametru nesemnificativ.

La sistemele cu *GFV*, prețul surselor este aproximativ invers proporțional cu cel al randamentului de protecție, ceea ce a impus revizuirea proiectului de amplasare a punctelor de injecție în vederea ameliorării acestui randament și implicit a costului general.

În principal, proiectarea unei instalații de acest tip comportă două etape.

Prima din ele reprezintă studiul de amplasament al punctelor de injecție în vederea realizării unui maxim al randamentului de protecție în contextul unor cheltuieli de amplasament rezonabile. Această etapă furnizează datele preliminare necesare trecerii la cea de a doua etapă, aceea a dimensionării propriuzise a GFV.

Pentru abordarea primei etape este necesară determinarea experimentală a valorilor mărimilor specifice consumatorului, cum ar fi potențialul limită de protecție E_m (pentru oțel aceasta este $E_m = -0{,}85$ V față de electrodul de $Cu/CuSO_4$), densitatea de curent limită de protecție catodică (ce se determină direct sau din măsurarea potențialelor corelată cu legea lui Tafel), rezistivitatea solului, conductei și izolației, diametrul conductei etc.

Asimilînd conducta cu o rețea avînd elemente distribuite, variația potențialului în lungul acesteia se determină din rezolvarea ecuației diferențiale [3]:

$$\frac{d^2 E(x)}{dx^2} = r.g.E(x), \tag{1}$$

în care : r este rezistența liniară a conductei ;
g — conductivitatea izolației pe unitatea de lungime. Soluția ecuației (1) este :

$$Ex = A \operatorname{sh}(a.x) + B \operatorname{ch}(a\ .\ x), \tag{2}$$

în care :

$$a = \sqrt{r\ .\ g},$$

iar A și B sînt constante de integrare ce depind de condițiile de frontieră :

$$\left.\frac{dE}{dx}\right|_{x=L} = 0,$$

$$E|_{x=L}, \tag{3}$$

rezultă în final :

$$E(x,\ L) = E_m.\ \operatorname{ch}[(L - x)\ .\ a], \tag{4}$$

cu reprezentarea grafică din figura 4.

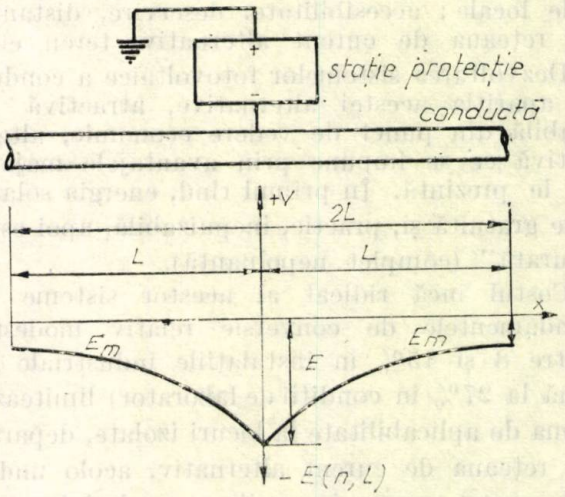


Fig. 4. Distribuția de potențial în lungul conductei.

Energia necesară asigurării protecției catodice pentru un tronson de conductă de lungime L va fi dată de relația :

$$W_e^{(L)} = E(0,\ L).J_p.\pi.d.L.t, \tag{5}$$

în care : t este timpul de funcționare a instalației (de regulă 24 h/zi) ;
J_p — densitatea de curent de protecție ;
d — diametrul conductei.

Considerînd energia minimă efectiv necesară protecției :

$$W_{min} = E_{min}\ .\ J_p.\ \pi\ .\ d\ .\ L\ .\ t, \tag{6}$$

rezultă expresia randamentului de protecție în funcție de lungimea L a conductei de protejat :

$$\eta = \frac{W_{min}}{W_e} = \frac{E_{min}}{E(x)} = \frac{1}{\operatorname{ch}(L - x).a}. \tag{7}$$

Știind că puterea instalată necesară este invers proporțională cu acest randament și direct proporțională cu costul generatorului, rezultă expresia :

$$C = \frac{K}{\eta}, \tag{8}$$

în care : C reprezintă costul unui generator necesar protejării unei conducte de lungime L folosind un singur punct de injecție ;

K — constanta de proporționalitate rezultată din prețul GFV.

Se constată că pentru $L = 0$ costul cunoaște un minim, ceea ce s-ar traduce printr-o instalație de protecție uniform distribuită în lungul conductei (soluție inacceptabilă din punct de vedere practic).

Pe de altă parte, calculînd costul D al investiției unui punct de injecție pentru a proteja lungimea de conductă L se ajunge la relația empirică :

$$D = K_1 \cdot L + \frac{K_2}{K_3 + L}, \tag{9}$$

în care K_1, K_2 și K_3 sînt constante de proporționalitate rezultate din cheltuielile de cost specifice condițiilor locale.

Punînd curbele celor două costuri în același plan de coordonate, rezultă figura 5, în care L_0 reprezintă lungimea optimă la care funcția cost total $T = C + D$ cunoaște un minim [4]. Cu ajutorul valorii L_0 se calculează energia minimă necesară protecției :

$$W_{mo} = W_e(L_0), \tag{10}$$

respectiv puterea minimă optimă necesară :

$$P_{mo} = \frac{W_{mo}}{t}. \tag{11}$$

Aceste determinări, alături de datele privind energia primară (valori medii ale radiației solare și temperaturii ambiantului, precum și funcțiile densitate de probabilitate a radiației solare) și datele privind caracteristicile elementelor de conversie (parametrii modulelor măsurați în condiții standard, precum și variația acestora în funcție de radiație și temperatură) constituie date preliminare pentru trecerea la cea de a doua etapă, cea a dimensionării GFV.

În vederea optimizării sursei fotovoltaice, în condițiile asigurării autonomiei energetice, este necesară minimizarea (la limită anularea) deficitului energetic din sistem în condițiile unor costuri minime.

Metoda de analiză și proiectare propusă în această lucrare constă în modelarea statistică a procesului de conversie printr-un proces Markov unipas în raport cu energia stocată cu N stări de energie Δ [5, 6].

Se obține astfel probabilitatea de a avea un deficit energetic Δ în cursul unei zile :

$$p_D = q \cdot p_1, \tag{12}$$

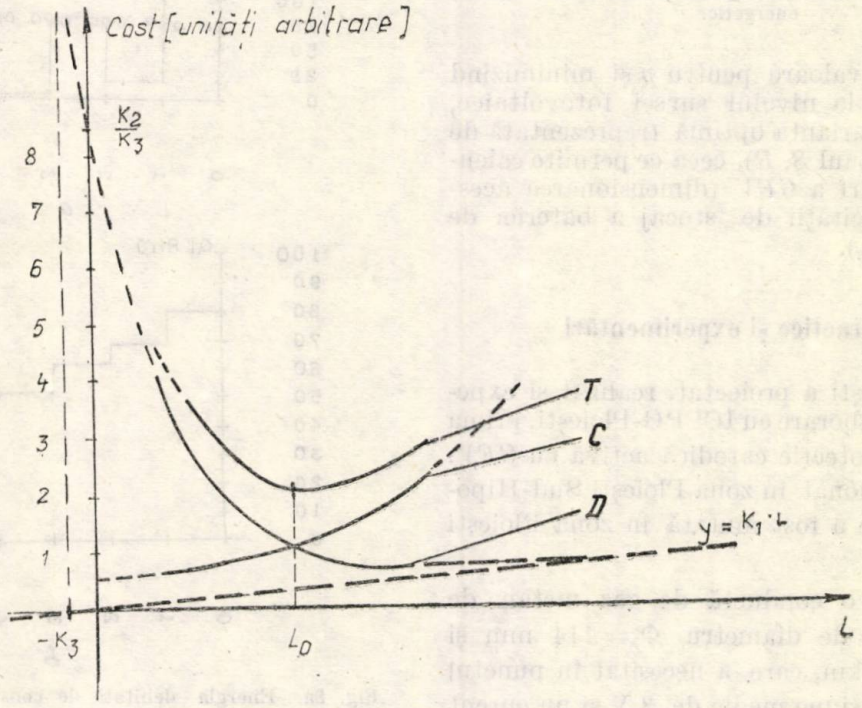


Fig. 5. Determinarea lungimii optime de protejat (L_0) pentru un singur punct de injecție.

în care q este probabilitatea de a apărea o tranziţie de energie Δ de la stocaj către consumator;

p_1 — probabilitatea ca bateria să fie descărcată complet, dată de relaţia:

$$p_1 = \frac{1 - q/(1-q)}{1 - q/(1-q)^N}, \qquad (13)$$

Mărimile Δ, q depind de mărimile de intrare (consumator, radiaţie solară, configuraţie sistem etc.), ceea ce permite determinarea capacităţii stocajului în funcţie de raportul dintre puterea de vîrf a *GFV* şi puterea medie a consumatorului (valoare anterior optimizată). În figura 6 este prezentată această dependenţă pentru diferite valori ale lui p_D.

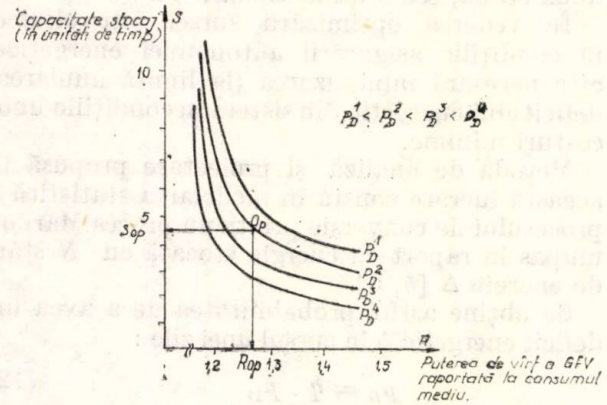


Fig. 6. Determinarea unui optim între puterea de vîrf a generatorului, capacitatea stocajului şi riscul unui deficit energetic.

Impunînd o valoare pentru p şi minimizînd costurile totale la nivelul sursei fotovoltaice, se determină varianta optimă (reprezentată de punctul 0 în planul S, R), ceea ce permite calculul puterii de vîrf a *GFV* (dimensionarea acestuia) şi a capacităţii de stocaj a bateriei de acumulatori (C_B).

3. Realizări practice şi experimentări

ICPE-Bucureşti a proiectat, realizat şi experimentat în colaborare cu ICPPG-Ploieşti, prima instalaţie de protecţie catodică activă cu *GFV*. Aceasta a funcţionat în zona Ploieşti Sud-Hipodrom după care a fost mutată în zona Ploieşti Vest.

S-a protejat o conductă de gaz metan de medie presiune de diametru $\Phi = 114$ mm şi lungime $L = 6$ km, care a necesitat în punctul de injecţie o tensiune medie de 3 V şi un curent mediu de $1 \div 1{,}5$ A.

Prin intermediul unui înregistrator multicanal s-a urmărit variaţia principalilor parametri. În figura 7 se prezintă o înregistrare tipică a unei zile, iar în figura 8a şi 8b sinteza măsurătorilor pe un interval de o săptămînă cu o variaţie tipică.

În urma testărilor efectuate s-a constatat o bună funcţionare a instalaţiei, precum şi con-

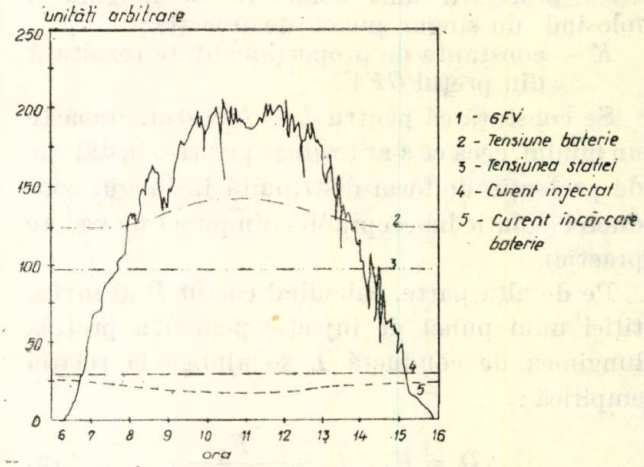


Fig. 7. Înregistrarea diurnă a principalilor parametri ai unei instalaţii de protecţie activă cu *GFV*.

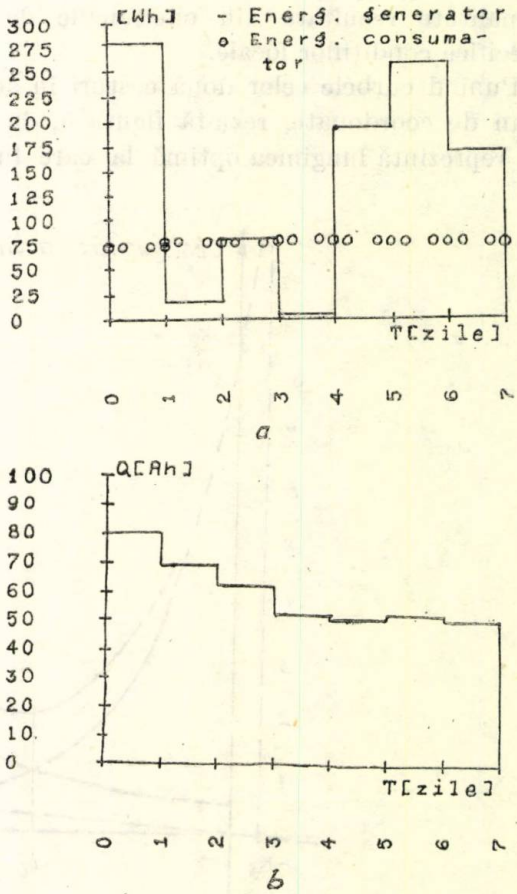


Fig. 8a. Energia debitată de consumator şi cea solicitată de consumator în cursul unei săptămîni; b — energia stocată în bateria de acumulatori în cursul unei săptămîni.

cordanța cu valorile estimative utilizate în faza de modelare și proiectare.

În urma experimentărilor pe timp de iarnă, în condiții de depunere de chiciură pe panourile solare, s-a constatat că funcționarea panourilor în regim de scurtcircuit, timp de aproximativ 30 min , a dus la degivrarea completă a acestora. Utilizînd această tehnică în mod sistematic (incluzînd-o în logica de supraveghere) s-ar putea obține, pe un timp de iarnă, un grad mai ridicat de utilizare a *GFV*.

4. Concluzii generale

Îmbunătățirea, din punct de vedere energetic, a eficienței protecției catodice prin utilizarea unui număr sporit de instalații de mică putere uniform distribuite de-a lungul conductei, reprezintă o soluție perfect compatibilă cu utilizarea *GFV*. S-a constatat că există premisa lărgirii domeniului de puteri în vederea substituirii, în structurile existente, a surselor de curent continuu utilizate.

De asemenea, prin principala lor caracteristică, de a lucra în regim potențiostatic, instalațiile cu *GFV* pot fi montate în tandem cu instalațiile existente, în punctele critice, pentru a suplini sursele clasice.

Utiiizarea *GFV*, datorită caracterului lor modular, permite un mod de operare flexibil din punct de vedere al creșterii în timp a cererii de putere în punctul de injecție.

Prin natura sa, instalația de protecție catodică activă echipată cu *GFV* permite tehnici complexe de monitorizare și prelucrare de date pe lungă durată, în vederea gestionării eficiente a energiei stocate folosind tehnici de predicție cu date prelucrate statistic.

Integrînd acestor metode și tehnica relaxării potențialului [7], dimensionarea *GFV* va putea atinge un grad maxim de optimizare (cost raportat la riscul deficitului energetic).

De asemenea, utilizarea *GFV* ca surse de c.c. pentru instalațiile de protecție catodică activă situate în locuri izolate, prezintă o eficiență economică superioară celorlalte forme de energie convențională (extinderii de rețea, acumulatoare, grup electrogen) din toate punctele de vedere : volumul investițiilor (*VI*), economie anuală de energie (*EEA*), costuri de întreținere și exploatare (*CIE*), durată de recuperare (*DR*), după cum reiese din graficul din figura 9 cu datele puse la dispoziție de ICPPG-Ploiești.

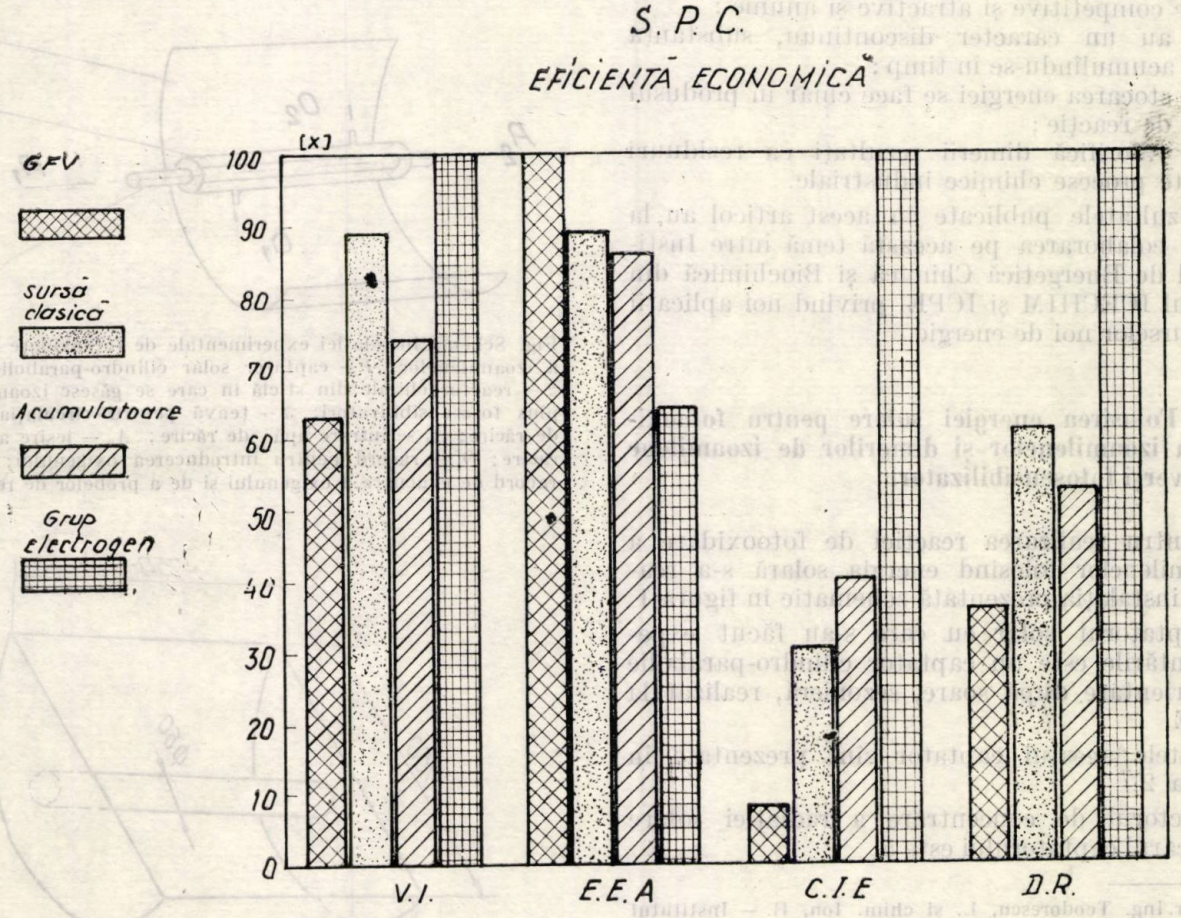


Fig. 9. Prezentarea comparativă a diferitelor variante de implementare a surselor de c.c. din anumite puncte de vedere economice.

Bibliografie

[1] *Roche, M.* Protection contre corrosion des ouvrages maritimes pétroliers. Institute Francais du petrol, 1979.
[2] *Olariu, N., Lauci, E., Vlad, M., Ripeanu, M.* Experimentări privind utilizarea surselor neconvenţionale de energie la protecţia catodică a echipamentelor petrochimice. Simpozionul de surse noi de energie, septembrie 1986, Eforie Nord.
[3] *Morgan, I. H.* Cathodic Protection. Leonard Hill Ltd., 1959, London.
[4] *Tănăsescu, Fl. T., Olariu, N., Popescu, C.* The implementation of photovoltaic cathodic protection system. Proc. 8th E.C. Photovoltaic Solar Energy. Conference Florence (Italy), 1988.
[5] *Bucciorelli, L. L.* Estimativy of loss of power probabilities of stand alone photovoltaic solar energy systems. Solar Energy, 1985.
[6] *Olariu, N.* Determinarea funcţiilor densitate de probabilitate a radiaţiei solare cu aplicaţii în analiza sistemelor fotovoltaice. Simpozionul de surse noi de energie, semptembrie 1986, Eforie Nord.
[7] *Henze, B.* La relaxation du potentiel: Case d'une nouvelle technique du protection cathodique. XXXII-e Congrès International de Chimie Industrielle, Barcelone (Spaine), 23—30 oct 1960.

CZ 620.91/92

ENERGIE SOLARĂ ŞI EOLIANĂ
CHIMIE

Aplicaţii ale energiei solare şi eoliene în chimie

LUCIAN TEODORESCU*, EMILIAN ZAIDES**, RODICA ION* BUCUREŞTI

Introducere

Una dintre aplicaţiile promiţătoare ale surselor noi de energie o constituie reacţiile de fotooxidare şi fotoclorurare a hidrocarburilor pentru obţinerea unor produse utile.

Aceste aplicaţii au o serie de avantaje care le fac competitive şi atractive şi anume :

— au un caracter discontinuu, substanţa utilă acumulîndu-se în timp ;

— stocarea energiei se face chiar în produsul final de reacţie ;

— valorifică dimerii rezultaţi ca reziduuri în alte procese chimice industriale.

Rezultatele publicate în acest articol au la bază colaborarea pe această temă între Institutul de Energetică Chimică şi Biochimică din cadrul ICECHIM şi ICPE, privind noi aplicaţii ale surselor noi de energie.

1. Folosirea energiei solare pentru fotooxidarea izoamilenelor şi dimerilor de izoamilene pe diverşi fotosensibilizatori

Pentru realizarea reacţiei de fotooxidare a izoamilenelor folosind energia solară s-a realizat instalaţia prezentată schematic în figura 1.

Captatorul solar cu care s-au făcut experimentările este un captator cilindro-parabolic cu orientare după soare, sezonieră, realizat la ICPE.

Datele acestui captator sînt prezentate în figura 2.

Factorul de concentrare a radiaţiei solare în focarul captatorului este 5.

Acest tip de captator, avînd un focar foarte jos, necesită numai o reajustare periodică (la două săptămîni) faţă de poziţia soarelui.

Au fost realizate două modele experimentale : unul în Bucureşti, la IECB şi unul la Staţia Experimentală ICPE-Agigea.

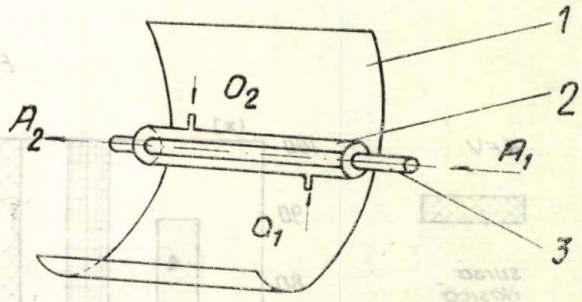


Fig. Schema instalaţiei experimentale de fotooxidare solară a izoamilenelor: *1* — captator solar cilindro-parabolic fix; *2* — reactor chimic din sticlă în care se găsesc izoamilene plus fotosensibilizatori; *3* — ţeavă pentru circulaţia apei de răcire; A_1 — intrare apă de răcire; A_2 — ieşire apă de răcire; O_1 — racord pentru introducerea oxigenului; O_2 — racord de evacuare a oxigenului şi de a probelor de reactiv.

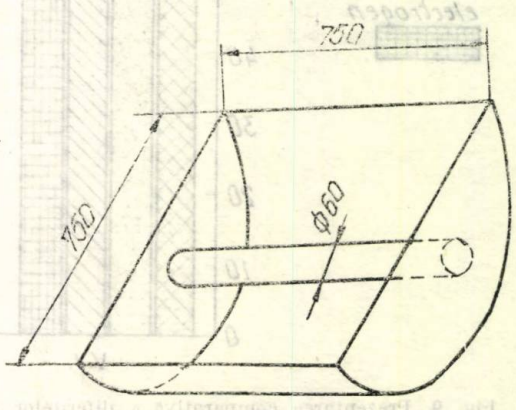


Fig. 2. Captator solar cilindro-parabolic.

* Dr. ing. Teodorescu, L. şi chim. Ion, R. — Institutul de Energetică Chimică şi Biochimică; ing. Zaides, E. — ICPE — Bucureşti.

Rezultatele obținute în reacțiile de fotooxidare solară utilizînd diferiți sensibilizatori sînt prezentate în figura 3.

Condițiile de lucru și analiza produșilor de reacție sînt similare celor folosind o sursă de radiații artificiale.

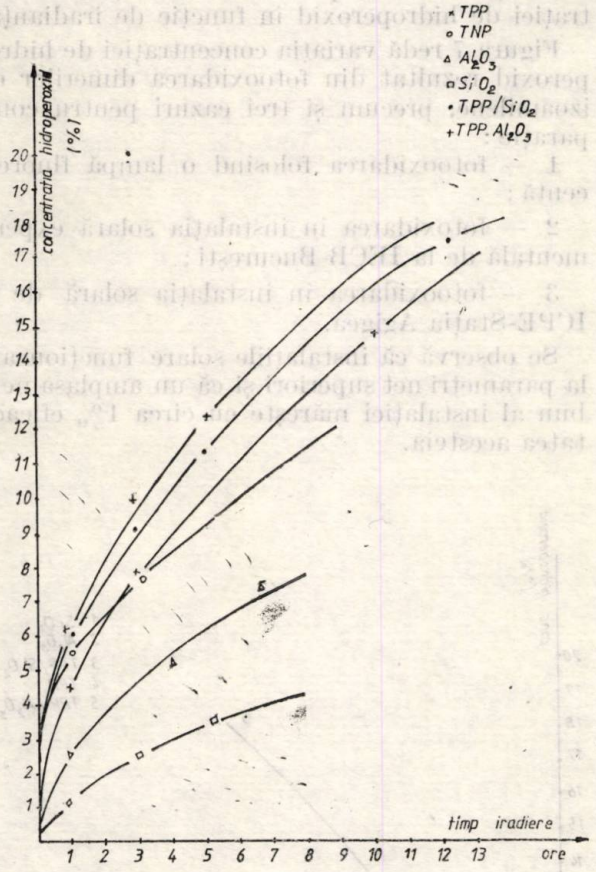


Fig. 3. Variația concentrației de hidroperoxid cu timpul de iradiere și natura fotosensibilizatorului.

Semnificația fotosensibilizatorilor folosiți este :

1 — TPP — tetrafenilporfirină ;
2 — TNP — tetranaftilporfirină ;
3 — alumină ;
4 — bioxid de siliciu ;
5 — tetrafenilporfirină cu bioxid de siliciu ;
6 — tetrafenilporfirină cu alumină.

În figura 4 este prezentată variația concentrației de hidroperoxid cu iradianța.

Din figura 3 se observă că cel mai bun fotosensibilizator este tetrafenilporfirina pe alumină, aceasta conduce, în același timp de expunere la soare, la o concentrație de hidroperoxid cu circa 28% mai mare decît dacă se lucrează cu tetrafenilporfirină simplă.

Datele comparative privind comportarea celor șase reacții la iluminare artificială (lampă de 125 W) și la lumină solară pentru un timp-etalon de o oră și o iluminare echivalentă de 850 W/m², sînt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Date experimentale comparative între o sursă artificială și un reactor iluminat solar

Fotosensibilizatori	Sursa de radiație	Lampă de 125 W soare		Observații
		Creșterea concentrației de hidroperoxid %/oră		
TPP		0,8	4,4	S-a considerat timpul de iradiere de o oră și iradianța 850 W/m² în ambele cazuri
TNP		1,1	5,7	
Al_2O_3		0,4	1,8	
SiO_2		0,15	0,75	
TPP/SiO_2		1,08	5,4	
TPP/Al_2O_3		1,3	6,5	

După cum se observă din tabelul 1, în reactorul solar reacția a decurs mai bine, factorul de concentrare al captatorului (5) regăsindu-se perfect în datele experimentale ; reacția a decurs deci cu un randament de 5 ori mai mare.

Acest lucru conduce la concluzia că, mărind factorul de concentrare al captatorului solar se va mări în același raport randamentul reacției.

Dar, pe lîngă fenomenele favorabile, apar și efecte nedorite, după cum reiese din figura 4.

Astfel, în cazul folosirii reactorului solar, se constată o creștere mare a procentului de hidroperoxid la începutul reacției, după care viteza de reacție scade tinzînd spre o anumită limită.

Căutînd cauzele acestei scăderi, s-a dedus că, probabil scade cantitatea de fotosensibilizator din reacție, aceasta ducînd la scăderea randamentului în hidroperoxid.

Experimental, s-a stabilit cantitatea de fotosensibilizator care se consumă în reacție în mod ireversibil și adăugînd această cantitate, periodic, s-a obținut curba din figura 4, în care, cu linie punctată a fost trasată variația cantității de fotosensibilizator din reactorul solar.

Primele aprecieri asupra acestui fenomen au dus la concluzia că sînt trei factori ce determină consumarea fotosensibilizatorului în mod ireversibil :

— prezența unei umidități atmosferice ridicate la Stația Agigea ;

— prezența UV în spectrul solar ;

— pe lîngă hidroperoxizii doriți în cadrul reacției apar o serie întreagă de compuși secundari ce consumă catalizatorul.

Exact aceleași experimente realizate, plecînd de la izoamilene, s-au efectuat și pentru dimerii

de izoamilene, concluziile fiind calitativ și cantitativ aceleași ca și la fotooxidarea izoamilenelor.

Se cuvine făcută o precizare: dimerizarea izoamilenelor a apărut ca o necesitate datorită următoarelor avantaje:

— dimerii nu sînt atît de volatili ca izoamilenele, pierderile de substanță utilă în timpul procesului fiind minime;

— se poate realiza reacția de oxidare în condiții de siguranță sporită, la lumina soarelui, nemaifiind necesară o răcire puternică a căilor de trecere a reactanților. Se cîștigă astfel în siguranța și în economia întregului proces de fotooxidare solară;

— fotooxidarea dimerilor prezintă interes întrucît permite utilizarea unor reziduuri din alte procese chimice industriale;

— în urma reacției de fotooxidare rezultă hidroperoxizi de dimeri de izoamilene, care prin prelucrări ulterioare conduc la compuși importanți pentru industria cosmetică.

În figura 5 este prezentată variația concentrației hidroperoxizilor rezultați din dimerii de izoamilene, funcție de timpul de iradiere.

Ca și în cazul precedent, se remarcă drept cel mai bun fotosensibilizator tetrafenilporfirina pe suport de alumină.

În figura 6 este prezentată variația concentrației de hidroperoxid în funcție de iradianță.

Figura 7 redă variația concentrației de hidroperoxid rezultat din fotooxidarea dimerilor de izoamilene, precum și trei cazuri pentru comparație:

1 — fotooxidarea folosind o lampă fluorescentă;

2 — fotoxidarea în instalația solară experimentală de la IECB-București;

3 — fotooxidarea în instalația solară de la ICPE-Stația Agigea.

Se observă că instalațiile solare funcționează la parametri net superiori și că un amplasament bun al instalației mărește cu circa 1% eficacitatea acesteia.

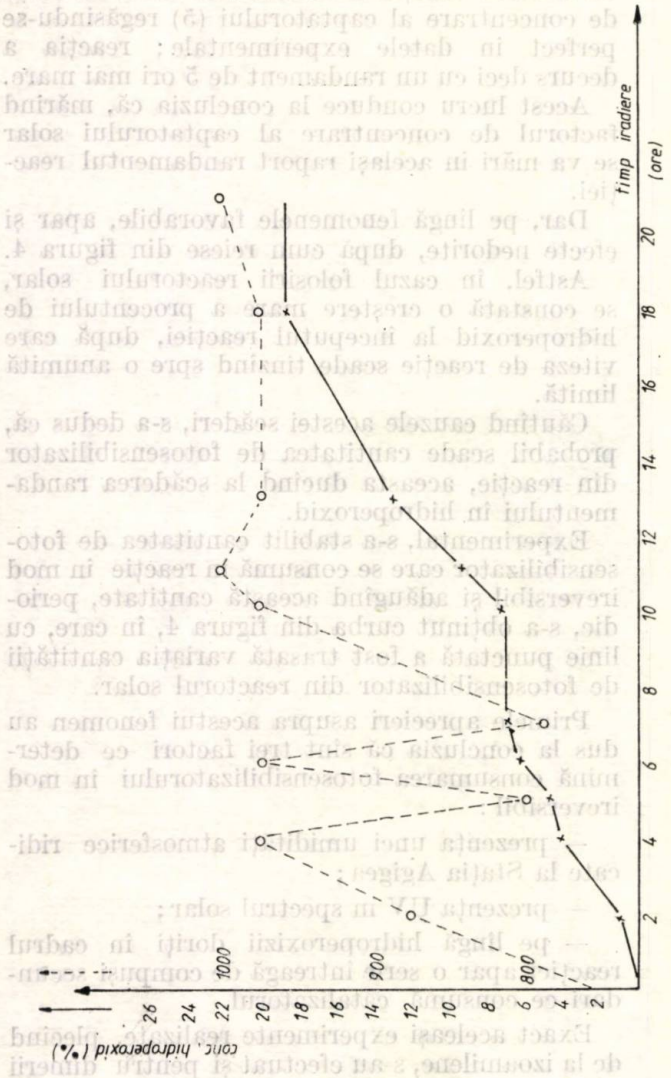


Fig. 4. Variația concentrației de hidroperoxid cu iradianța.

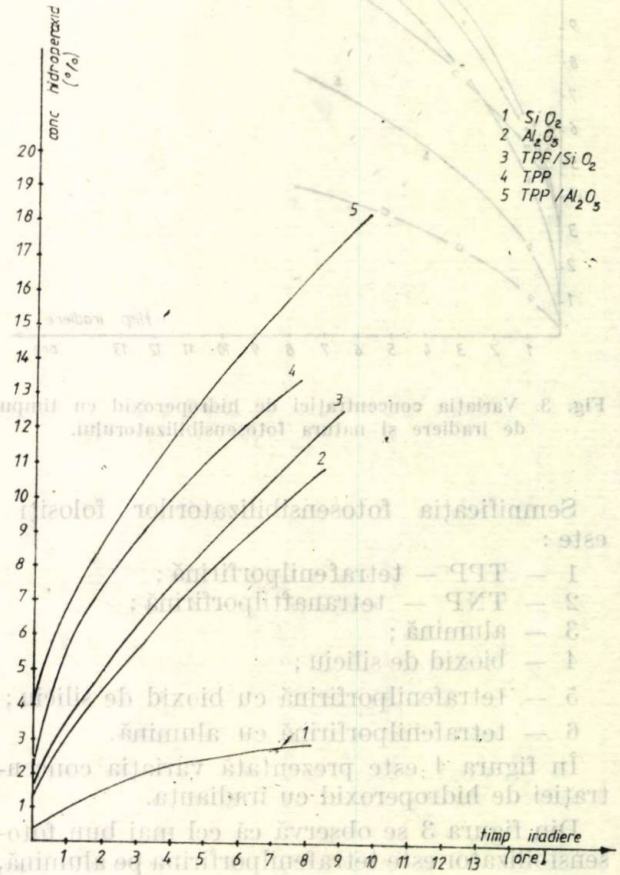


Fig. 5. Variația concentrației hidroperoxizilor rezultați din dimerii de izoamilene cu tipul de catalizator.

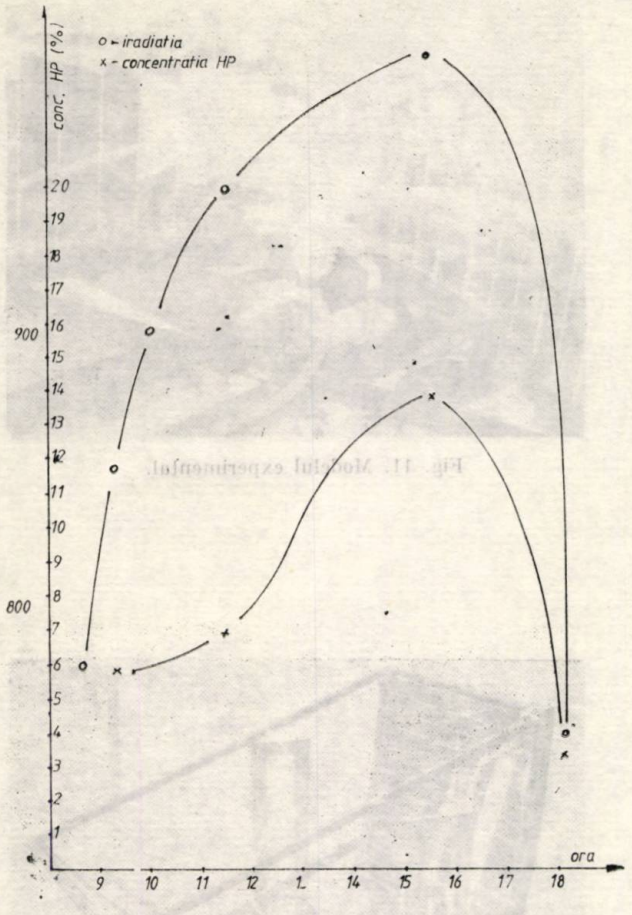


Fig. 6. Variaţia concentraţiei de hidroperoxid cu iradianţa.

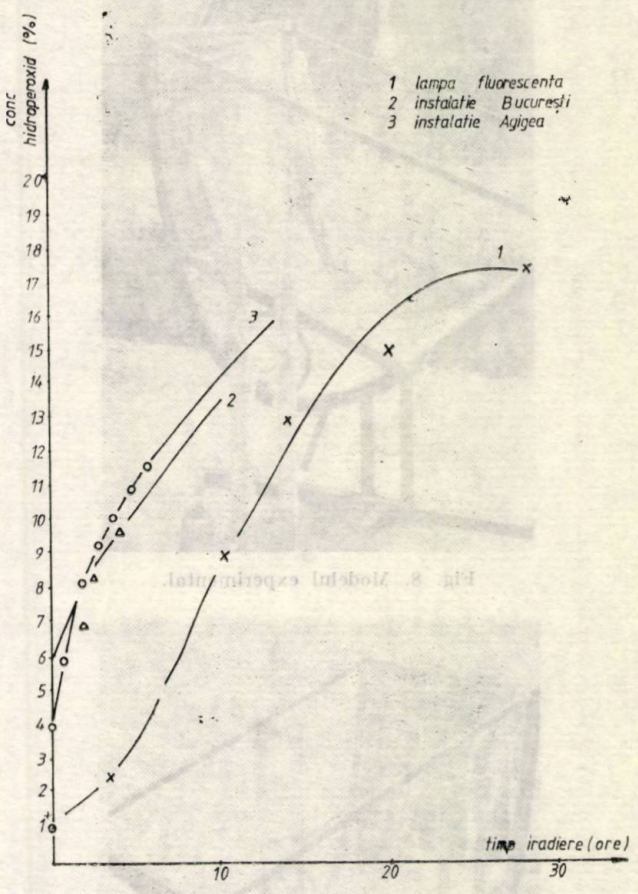


Fig. 7. Diagrama fotooxidării dimerilor de izoamilene funcţie de natura şi amplasamentul geografic al instalaţiei.

Figurile 8, 9, 10, 11, 12 prezintă instalaţia-model realizată la Baza ICPE-Agigea.

2. Perspective

Experienţa acumulată pînă în prezent va fi folosită în elaborarea unui al doilea model de fotoreactor chimic solar, care să ţină seama de toate efectele pozitive înregistrate în prima etapă (creşterea randamentului de hidroperoxid), dar şi de neajunsurile întîmpinate (consumarea fotosensibilizatorului TPP/Al_2O_3).

Ca urmare, se va realiza un nou model experimental ca reactor chimic solar avînd drept catalizator de bază alumina, model schematic descris în figura 13.

În cadrul acestui nou model experimental, ţeava de răcire a reactorului va fi chiar fotosensibilizatorul A_2O_3 pentru reacţia fotochimică.

Prin folosirea unor filtre optice pentru uv ca şi prin urmărirea atentă a compuşilor secundari de reacţie care consumă tetrafenilporfirina se va încerca mărirea randamentului reacţiei, la o construcţie mai economică a reactorului.

În caz că, consumarea catalizatorului TPP nu va putea fi eliminată total, se poate renunţa la acesta, păstrînd numai Al_2O_3, dar mărind factorul de concentrare al captatorului solar la 50, fapt ce va compensa din plin lipsa TPP, alumina fiind un fotosensibilizator mult mai stabil. De asemenea, se va mări durata de iradiere a reactorului pe seama folosirii energiei vîntului, permiţînd practic lucrul non-stop al unei astfel de instalaţii.

Proiectul pentru această instalaţie este finalizat, instalaţia urmînd să fie supusă primelor probe.

3. Concluzii

1. O primă concluzie care se poate trage din acest prim set de experimentări este aceea că se găseşte o aplicaţie extrem de importantă pentru sursele neconvenţionale de energie (solară şi eoliană), rezolvînd totodată şi două mari probleme pe care le ridică folosirea acestor surse :

— au un caracter discontinuu, ori procesele care au loc permit discontinuităţi în timp, căci odată cu reapariţia sursei de energie procesele se pot relua de la punctul în care au rămas ;

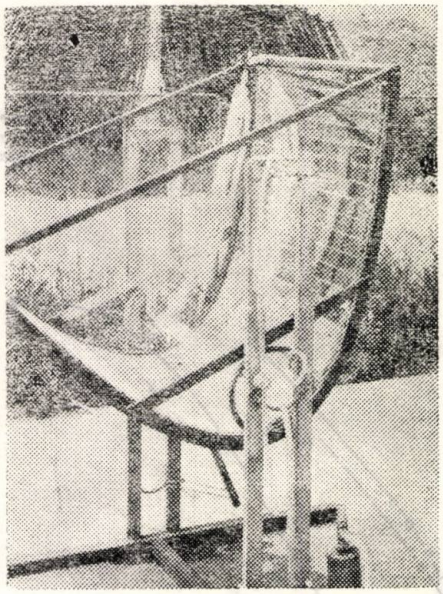


Fig. 8. Modelul experimental.

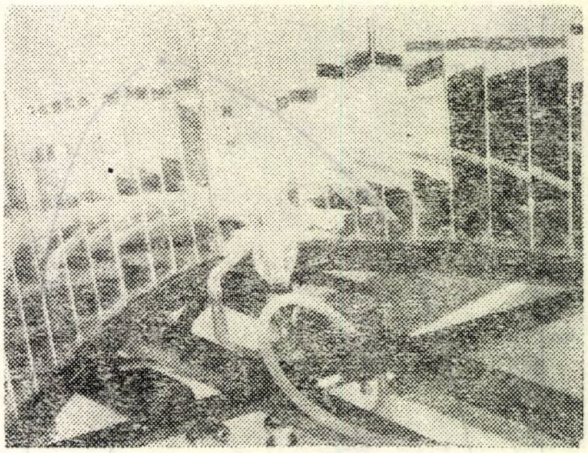


Fig. 11. Modelul experimental.

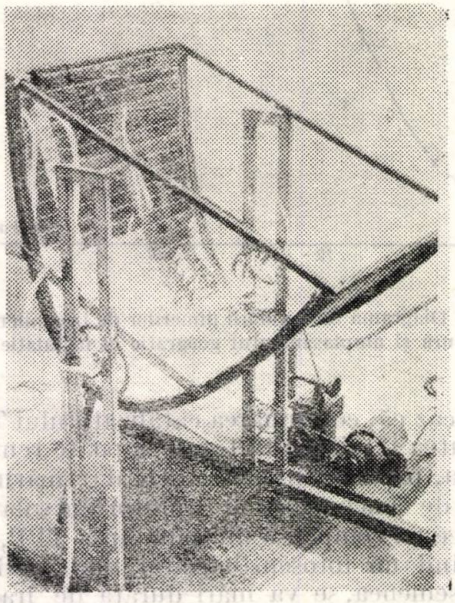


Fig. 9. Modelul experimental.

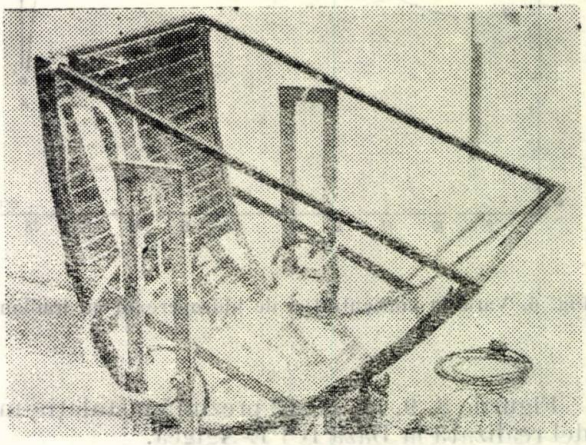


Fig. 12. Modelul experimental.

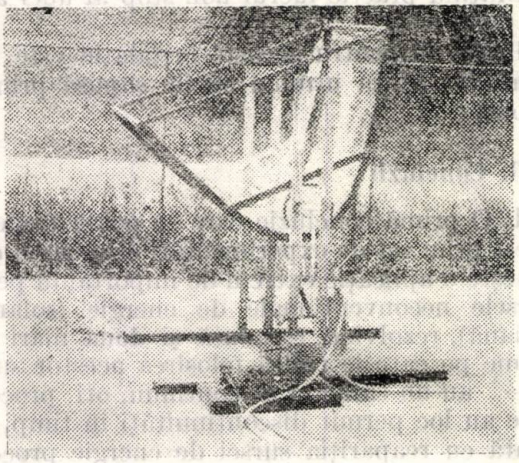


Fig. 10. Modelul experimental.

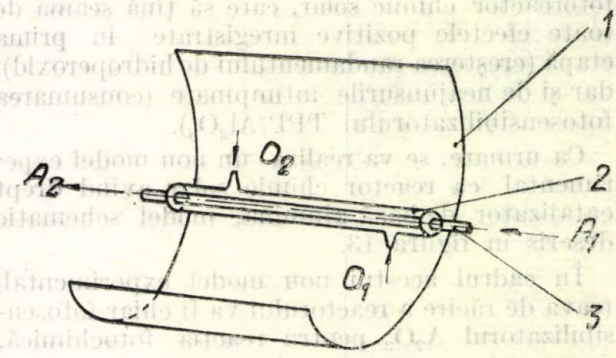


Fig. 13. Modelul experimental îmbunătățit.: 1 — captator solar cilindro-parabolic fix; 2 — reactor chimic din sticlă; 3 — țeavă din aluminiu având pe suprafață un strat de Al_2O_3 și o rugozitatea mare; A_1A_2 — racorduri de intrare, respectiv ieșire a apei de răcire; O_1O_2 — racorduri de intrare, respectiv de ieșire pentru oxigen.

— se rezolvă problema stocării care este de mare importanţă în cazul unor surse discontinue; se stochează direct în substanţa chimică utilă, fără a necesita instalaţii suplimentare (stocatoare de căldură, baterii de acumulatori etc).

2. În cazul folosirii unor concentratoare solare se reduce considerabil timpul de iradiere luminoasă al reactorului, permiţînd şi în acest fel realizarea unei economii însemnate de energie, căci, aceste reacţii sînt mari consumatoare de energie.

3. Soluţia prezentată propune folosirea unor surse de energie neconvenţionale şi nepoluante; mai mult, prin prelucrarea deşeurilor chimice de dimeri de izoamilene, devine ea însăşi o metodă activă de depoluare, rezultatul acestei acţiuni fiind substanţe chimic utile şi nepoluante.

CZ 621.436: 621.313.2

MOTOR DIESEL-GENERATOR
COMPORTARE DINAMICĂ
FUNCŢII DE TRANSFER

Dinamica ansamblului motor diesel—generator sincron

VLADIMIR-VIOREL GHIŢĂ * — BUCUREŞTI

1. Generalităţi

Regimul dinamic al grupurilor maşină primară — generator sincron, tratat sub denumirea „pendulările maşinii sincrone" [1, 2] este întîlnit nu numai la grupurile din centralele electrice ale sistemului energetic (zeci pînă la sute MW), dar şi la grupurile antrenante de motoare diesel (sute pînă la mii kW).

Acestea din urmă pot să funcţioneze:
— singular, izolat de sistemul energetic;
— în paralel: — cu sistemul energetic;
— formînd un sistem izolat (insular).

Se cunosc preocupări de descriere a aspectelor caracteristice funcţionării grupurilor diesel — generator sincron cu funcţionare singulară sau în paralel, în sistem insular [3. 4], din care însă nu rezultă o modelare unitară a sistemului şi anume sub o formă utilă din punct de vedere al reglajului automat.

Deşi, principial, regimul dinamic-putere activă — unghi intern se produce asemănător atît la generatoarele mari şi foarte mari cu antrenare termo sau hidro, cît şi la cele mici şi medii cu antrenare diesel, există cîteva deosebiri calitative determinate de următoarele aspecte caracteristice celor din urmă:

— cuplu de antrenare cu componenţă armonică;

— constante de timp mici care dau sistemului caracterul rapid;

— perturbaţii de sarcină cu nivel şi rată de aplicare mare, comparativ cu puterea instalată;

— linii de transport de joasă tensiune şi trasee scurte.

Grupurile diesel-generator sincron, cuplate în paralel sînt din ce în ce mai des întîlnite în utilizarea ca sursă de energie în zone izolate, sau în caz de calamitate, constituind în cadrul unei microcentrale, un microsistem care alimentează deseori echipamente complexe cum sînt acţionările reglabile cu convertizoare statice de putere (foraj „ON" şi „OFF SHORE", nave, surse în locuri izolate sau în caz de avarie în sistemul energetic). Astfel de consumatori sînt capabili pe de o parte de a transmite aplicări şi aruncări de sarcină mari la grupuri, iar pe de altă parte de a imprima un puternic regim deformat, care reclamă o dinamică deosebită a buclelor de reglare pe motor şi generator în condiţiile utilizării cît mai raţionale a puterii instalate, dar şi ale livrării energiei la parametri calitativi cît mai apropiaţi de sistemul energetic.

Lucrarea de faţă îşi propune analiza regimurilor dinamice ale ansamblului mecano-electroenergetic, format din motor de antrenare diesel, generator sincron singular în paralel cu un sistem de putere infinită şi grupuri comparative sau egale, în paralel, formînd un sistem de bare izolat de reţea (insular), pe baza căruia se obţine descrierea comportării dinamice prin funcţii de transfer, care dau posibilitatea rezolvării problemelor de automatică, atît pe partea mecanică, cît şi pe partea electrică.

Pornind de la un model matematic obţinut prin scrierea sistemului electromecanic faţă de un sistem de referinţă unic se ajunge la descrierea variantelor de comportare, utile în practică.

2. Grup singular racordat la sistem infinit

2.1. Modelul matematic şi fazorial dinamic

Din punct de vedere mecanic, un grup motor diesel — generator sincron funcţionînd cuplat cu o reţea de putere infinită poate fi reprezentat în regim dinamic ca în figura 1.

* Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică — ICPE — Bucureşti.

Variabilele mărimi de intrare sînt considerate variațiile de cuplu:

ΔMm — a cuplului motor de antrenare, kgm;

ΔMg — corespunzător variației puterii active debitate de generator, kgm;

ΔMs — corespunzător variației de putere activă electrică în punctul de racord, kgm.

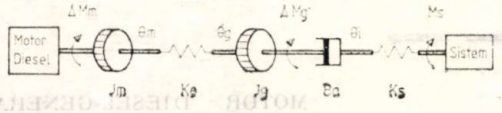


Fig. 1

Variabilele mărimi de ieșire sînt deviațiile unghiulare:

$0m$ — deviația unghiulară a axului motorului, rad;

$0g$ — deviația unghiulară a rotorului generatorului, rad;

$0i$ — deviația unghiulară a tensiunii la borne față de tensiunea electromotoare (unghiul intern al generatorului), rad.

Referința unghiulară este un sistem solidar cu cîmpul statoric învîrtitor (tensiunea la borne), de tipul celui propus de Kron [5].

Constantele,specifice unui sistem mecanic [6], sînt determinate de parametrii constructivi ai motorului de antrenare, generatorului, cuplajului mecanic și electric:

Jm — momentul de inerție de rotație al motorului kgm²;

Jg — momentul de inerție de rotație al generatorului kgm²;

Ke — constanta elastică a cuplei mecanice, kgm/rad;

Ba — constanta coliviei de amortizare a generatorului care are caracter de constantă de frecare vîscoasă, kgms/rad;

Ks — cuplul de sincronizare specific al generatorului care are caracter de constantă elastică, kgm/rad.

S-au neglijat frecările și constanta de frecare vîscoasă a amortizorului de vibrații torsionale ale motorului diesel (care lucrează la frecvențe relativ ridicate, generate de exploziile din cilindri), dar s-a pus în evidență elasticitatea cuplei dintre motor și generator, necesară diminuării efectului supărător de sacadare (iregularitatea turației) [3].

În cazul grupului racordat la sistem infinit se consideră că celelalte grupuri din sistem sînt insensibile la regimurile dinamice, care se produc la grupul studiat, iar acesta răspunde la solicitarea de putere, conform unor limite stabilite funcție de puterea proprie maximă.

După cum s-a menționat mai sus s-a considerat fazorul cîmp învîrtitor statoric (tensiunea la borne Us) drept sistem de referință adecvat unei referințe comune de deviații unghiulare. Se obține astfel un model fazorial dinamic ca în figura 2, care reprezintă o imagine de tip stroboscopic, într-o secțiune imaginară printr-un generator cu o pereche de poli, în momentul apariției unui proces dinamic al fazorilor:

$\bar{U}s$ — tensiune la borne;

$\bar{E}$ — tensiune electromotoare (t. e. m.);

$\bar{\Phi}ex$ — flux de excitație rotoric.

T.e.m. $\bar{E}$ determinată de fluxul principal $\bar{\Phi}o$ este în avans față de tensiunea la borne $\bar{U}s$, dar rămîne în urmă față de fluxul de excitație retoric Φex, datorită variației dinamice a fluxului de reacție a indusului, iar rotorul generatorului rămîne în urma axului motorului de antrenare datorită elasticității cuplei.

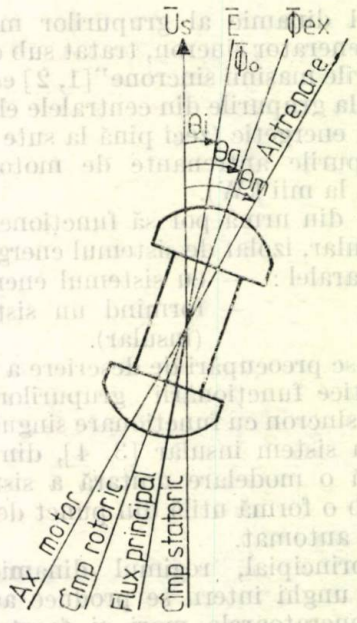


Fig. 2

Pentru liniarizare se consideră variații în jurul punctelor de funcționare, ca urmare a variațiilor de cuplu ΔMm la axul motorului corespunzător variației puterii de antrenare, ΔMg la axul generatorului, corespunzător variației puterii electromagnetice a generatorului, Ms-variația de cuplu electromagnetic, corespunzător cotei-părți din puterea activă preluată de grup la bare.

Se poate astfel scrie sistemul de ecuații corespunzător sistemului mecanic [6] din figura 1, care reprezintă ecuațiile de echilibru ale cuplu-

rilor dinamice la axul motorului, generatorului și la nivelul barelor:

$$\begin{cases} Jm\dfrac{d^2\theta m(t)}{dt^2} + Ke[\theta m\ (t) - \theta g(t)] = \Delta Mm(t), \\ Ke\ [\theta g\ (t) - \theta m(t)] + Jg\dfrac{d^2\,\theta g\ (t)}{dt^2} + \\ + Ba\dfrac{d}{dt}\ [\theta g(t) - \theta i(t)] = \Delta Mg(t), \\ Ba\dfrac{d}{dt}\ [\theta i(t) - \theta g(t)] + Ks\ .\theta i(t) = Ms(t). \end{cases} \quad (1)$$

Prin aplicarea transformatei Laplace se obține sistemul:

$$\begin{cases} (Jm\ .s^2 + Ke)\,\theta m(s) - Ke\ .\theta g(s) = \Delta Mm(s), \\ -Ka\ .\theta m(s) + (Jg\ .s^2 + Ba\ .s + Ke)\theta g(s) - \\ \qquad - Ba\ .s\ .\theta i(s) = \Delta Mg(s), \\ -Ba\ .s\ .\theta g(s) + (Ba\ .s + Ks)\theta i(s) = Ms(s). \end{cases} \quad (2)$$

2.2 Determinarea funcțiilor de transfer

Sistemul (2) descrie un sistem multivariabil de tipul celui din figura 3, în care mărimile ΔMm, ΔMg, ΔMs sînt de intrare, iar θm, θg, θi

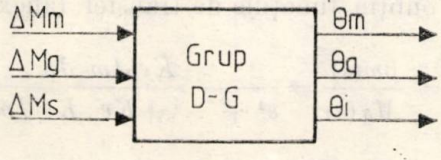


Fig 3

de ieșire. Ținînd seama că variațiile de cuplu nu apar simultan în cele trei puncte ale sistemului, se poate studia sistemul prin separare de efecte, obținîndu-se funcțiile de transfer în trei cazuri:

a) $\Delta Mm \neq 0$; $\Delta Mg \neq 0$; $Ms = 0$;

b) $\Delta Mg \neq 0$; $\Delta Mm \neq 0$; $Ms = 0$;

c) $Ms \neq 0$; $\Delta Mm = 0$; $\Delta Mg = 0$.

Cazul $\Delta Mm \neq 0$

Acest caz reprezintă situația comportării sistemului la acțiunea regulatorului de turație al motorului termic pe calea alimentării cu combustibil.

Prin rezolvarea sistemului (2), în această situație, se obțin funcțiile de transfer (anexa I):

$$F1a(s) = \frac{\theta m(s)}{\Delta Mm(s)} = \frac{1/Jm}{s} \times$$

$$\times \frac{s^3 + \ldots + Ke\ .\ Ks/Jg\ .\ Ba}{s^4 + \ldots + Ke\ .\ Ks/Jg\ .Jm},$$

$$F2a(s) = \frac{\theta g(s)}{\Delta Mm(s)} = \frac{Ke/Jm\ .Jg}{s} \times$$

$$\times \frac{s + Ks/Ba}{s^4 + \ldots + Ke\ .Ks/Jg\ .Jm},$$

$$F3a(s) = \frac{\theta i(s)}{\Delta Mm\,(s)} = \frac{Ke/Jg\ .Jm}{s^4 + \ldots + Ke\ .\ Ks/Jg\ .\ Jm},$$

$$F1'a(s) = \frac{\Omega m(s)}{\Delta Mm(s)} = s\ .\ F1\ a(s),$$

$$F2'a(s) = \frac{\Omega g(s)}{\Delta Mm(s)} = s\ .\ F2a(s).$$

Acestor funcții de transfer le sînt asociate schemele-bloc din figura 4a și b.

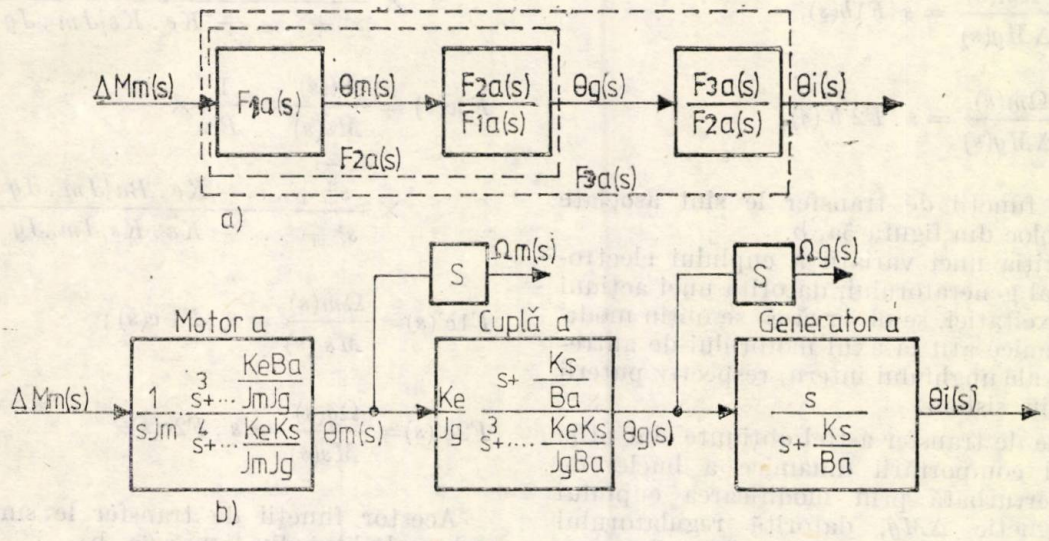


Fig. 4

Mărimea de ieşire a schemei-bloc din figura 4b este unghiul intern al generatorului cuplat la sistem, reprezentînd puterea activă injectată de generator în sistem, deoarece la unghiurile interne uzuale de lucru de pînă la $15 \div 20$ grade electrice [1, 2] cele două mărimi sînt cvasiproporţionale. Funcţiile de transfer astfel obţinute folosesc la studiul comportării dinamice a buclelor de reglare a turaţiei (frecvenţei) şi a puterii.

Cazul $\Delta Mg \neq 0$

Reprezintă situaţia comportării sistemului la acţiunea regulatorului de tensiune a generatorului care modifică cuplul electromagnetic pe calea excitaţiei.

Prin rezolvarea sistemului (2) în această situaţie se obţin funcţiile de transfer (anexa II) :

$$F1b(s) = \frac{\theta m(s)}{\Delta\, Mg(s)} = \frac{Ke/Jm\,.Jg}{s} \times$$

$$\times \frac{s + Ks/Ba}{s^4 + \ldots + Ke\,.Ks/Jm\,.Jg},$$

$$F2b(s) = \frac{\theta g(s)}{\Delta Mg(s)} = \frac{1/Jg}{s} \times$$

$$\times \frac{(s^2 + Ke/Jm)\,(s + Ks/Ba)}{s^4 + \ldots + Ke\,.Ks/Jm\,.Jg},$$

$$F3b(s) = \frac{\theta i(s)}{\Delta Mg(s)} = \frac{11}{Jg} \times$$

$$\times \frac{s^2 + Ke/Jm}{s^4 + \ldots + Ke\,.\,Ks/Jm\,.Jg},$$

$$F1b'(s) = \frac{\Omega m(s)}{\Delta Mg(s)} = s\,.F1b(s),$$

$$F2b'(s) = \frac{\Omega m(s)}{\Delta Mg(s)} = s\,.F2\,b\,(s).$$

Acestor funcţii de transfer le sînt asociate schemele-bloc din figura 5a, b.

La apariţia unei variaţii a cuplului electromagnetic al generatorului, datorită unei acţiuni pe calea excitaţiei, se observă ca se obţin modificări dinamice atît la axul motorului de antrenare, cît şi ale unghiului intern, respectiv puterii injectate în sistem.

Funcţiile de transfer astfel obţinute sînt utile în studiul comportării dinamice a buclei de putere, perturbată prin modificarea cuplului electromagnetic ΔMg, datorită regulatorului pe tensiune şi conjugat cu acesta la proiectarea (sinteza) dispozitivelor de îmbunătăţire, a stabilităţii dinamice (prin cupluri de sincronizare şi amortizare suplimentare furnizate de înfăşurarea de excitaţie), montate în conexiune cu regulatorul de tensiune [5, 8, 9].

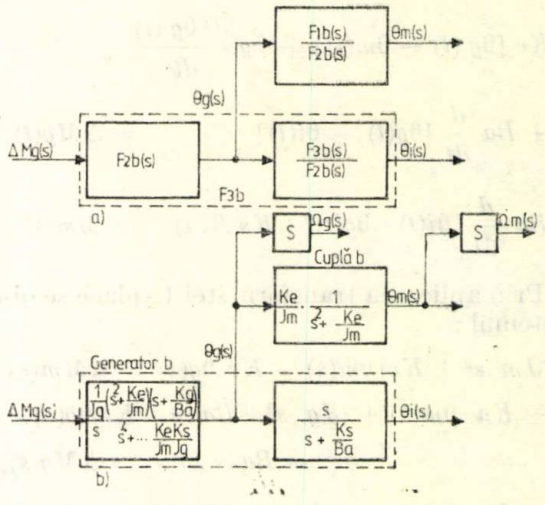


Fig 5

Cazul $Ms \neq 0$

Reprezintă situaţia comportării sistemului la variaţie de sarcină electrică la bare (consumatori).

Prin rezolvarea sistemului (2) în această situaţie se onbţin funcţiile de transfer (anexa III) :

$$F1c(s) = \frac{\theta m(s)}{Ms\,(s)} = \frac{Ke/Jm\,.Jg}{s^4 + \ldots + Ke\,.Ks/Jm\,.Jg}$$

$$F2c(s) = \frac{\theta g(s)}{Ms\,(s)} = \frac{1}{Jg} \times$$

$$\times \frac{s^2 + Ke/Jm}{s^4 + \ldots + Ke\,.Ks/Jm\,.Jg},$$

$$F3c(s) = \frac{\theta i(s)}{Ms(s)} = \frac{1}{Ba} \times$$

$$\times \frac{s^3 + \ldots + Ke\,.Ba/Jm\,.Jg}{s^4 + \ldots + Ke\,.Ks/Jm\,.Jg},$$

$$F1c'(s) = \frac{\Omega m(s)}{Ms\,(s)} = s\,.F1\,c(s);$$

$$F2c'(s) = \frac{\Omega g(s)}{Ms(s)} = s\,.F2c(s).$$

Acestor funcţii de transfer le sînt asociate schemele-bloc din figura 6a, b.

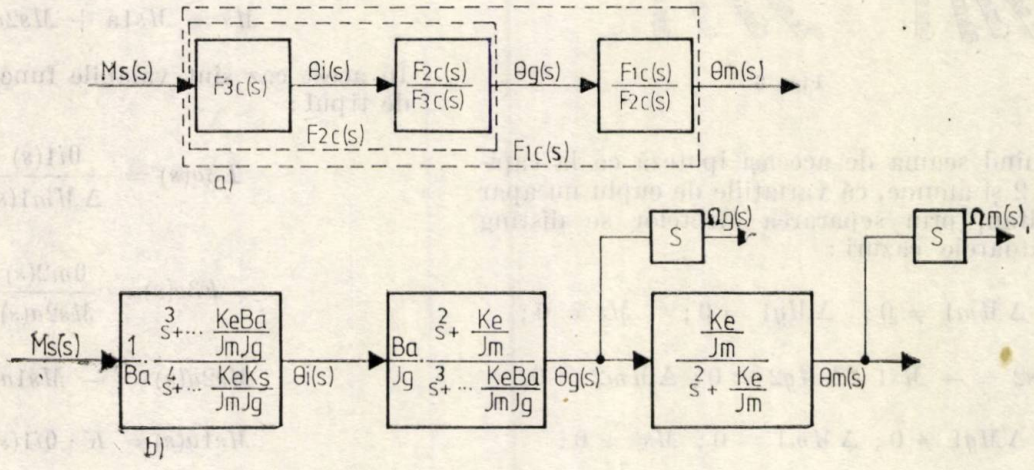
Aceste funcţii de transfer sînt utile la analiza comportării dinamice a buclei de turaţie şi celei de tensiune (conjugată cu dispozitivele de stabilizare) la perturbaţie prin modificarea sarcinii electrice la sistemul de bare, ca funcţii de transfer al elementelor de pe calea de aplicare a perturbaţiei.

3. Grupuri cuplate în paralel formînd un sistem insular (izolat)

3.1. Modelul matematic şi fazorial dinamic

Modelul sistemului mecanic format din două sau mai multe grupuri cu caracteristici diferite, cuplate în paralel, formînd un sistem electrodu-se ca referinţă fazorul-tensiune la borne $\bar{U}s$ (ţinînd seama că în acest caz traseele sînt foarte scurte impedanţa între punctele de racord se poate neglija), se obţine modelul fazorial din figura 8 unde sînt puse în evidenţă derivaţiile unghiulare dinamice la variaţii ale cuplurilor în diferite puncte ale sistemului, în cazul a două grupuri în paralel.

În acest caz se consideră că regimurile dinamice care apar la oricare din grupurile cuplate în paralel se transmit celorlalte, sistemul fiind mult mai labil din punct de vedere al stabilităţii şi amortizării.



Fig, 6

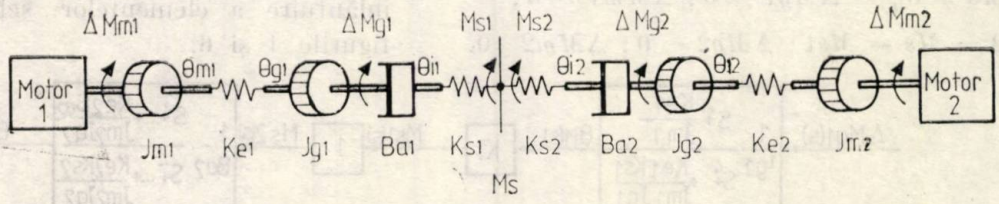


Fig. 7

energetic insular, izolat de sistemul energetic, este reprezentat în figura 7.

Utilizînd aceeaşi semnificaţie a mărimilor şi constantelor fizice, utilizate în capitolul 2, luînÎn aceleaşi ipoteze ca la punctul 2 se pot scrie atîtea sisteme de ecuaţii de echilibru la variaţiile de cuplu cîte grupuri sînt cuplate în paralel, similar sistemului (2), în cazul a două grupuri :

$$\begin{cases} (Jm1 \cdot s^2 + Ke1)\,\theta m1(s) - Ke1 \cdot \theta g1(s) = \Delta Mm1 \\ -Ke1 \cdot \theta m1(s) + (Jg1 \cdot s^2 + Ba1 \cdot s + Ke1)\theta g1(s) - Ba1 \cdot s \cdot \theta i1 = \Delta Mg1(s) \\ -Ba1 \cdot s \cdot \theta g1(s) + (Ba1 \cdot s + Ks1)\theta i1 = Ms1(s) \\ (Jm2 \cdot s^2 + Ke2)\theta m(s) - Ke2 \cdot \theta g2(s) = \Delta Mm2(s) \\ Ke2 \cdot \theta m2(s) + (Jg2 \cdot s^2 + Ba2 \cdot s + Ke2)\theta g2(s) - Ba2 \cdot s \cdot \theta i2(s) = \Delta Mg2(s) \\ -Ba2 \cdot s \cdot \theta g2(s) + (Ba2 \cdot s + Ks2)\theta i2(s) = Ms2(s). \end{cases}$$

La acest sistem se adaugă relația de interdependență :

$$Ms = Ms1 + Ms2,$$

care reprezintă o însumare algebrică dinamică.

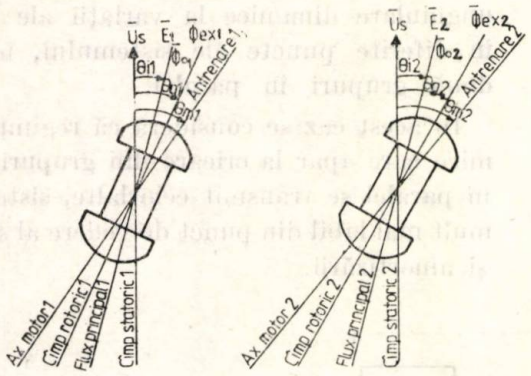


Fig. 8

Ținînd seama de aceeași ipoteză ca la capitolul 2 și anume, că variațiile de cuplu nu apar simultan, prin separarea efectelor se disting următoarele cazuri :

a) $\Delta Mm1 \neq 0$; $\Delta Mg1 = 0$; $Ms = 0$;

$Ms2 = - Ms1$; $\Delta Mg2 = 0$; $\Delta Mm2 = 0$,

b) $\Delta Mg1 \neq 0$; $\Delta Mm1 = 0$; $Ms = 0$;

$Ms2 = - Ms1$; $\Delta Mg2 = 0$; $\Delta Mm2 = 0$,

c) $Ms \neq 0$; $\Delta Mg1 = 0$; $\Delta Mm1 = 0$;

$Ms2 = Ms - Ms1$; $\Delta Mg2 = 0$; $\Delta Mm2 = 0$.

Cazul a

Reprezintă situația comportării sistemului la modificarea cuplului-motor pe calea alimentării cu combustibil a unuia din grupuri care are ca urmare modificarea încercării celuilalt grup fără să apară necesar de putere pe partea electrică la consumator.

În acest caz, între cele două grupuri apare un schimb dinamic de putere, determinat de modificarea unghiului intern al primului grup $\theta i1$ care determină o variație a puterii electrice $\Delta P1$, respectiv $\Delta Ms1$ care se aplică cu semn schimbat celuilalt grup, dat fiind că suma lor trebuie să fie zero, neexistînd variație de sarcină la consumatori :

$$Ms = Ms1a + Ms2a = 0.$$

În acest caz sînt valabile funcțiile de transfer de tipul :

$$F3a(s) = \frac{\theta i1(s)}{\Delta Mm1(s)},$$

$$F3c(s) = \frac{\theta m2(s)}{Ms2a(s)},$$

$$Ms2a(s) = - Ms1a(s),$$

$$Ms1a(s) = K \cdot \theta i1(s).$$

Comportarea care rezultă este descrisă de o schemă-bloc ca în figura 9a, care reprezintă o înlănțuire a elementelor schemelor-bloc din figurile 4 și 6.

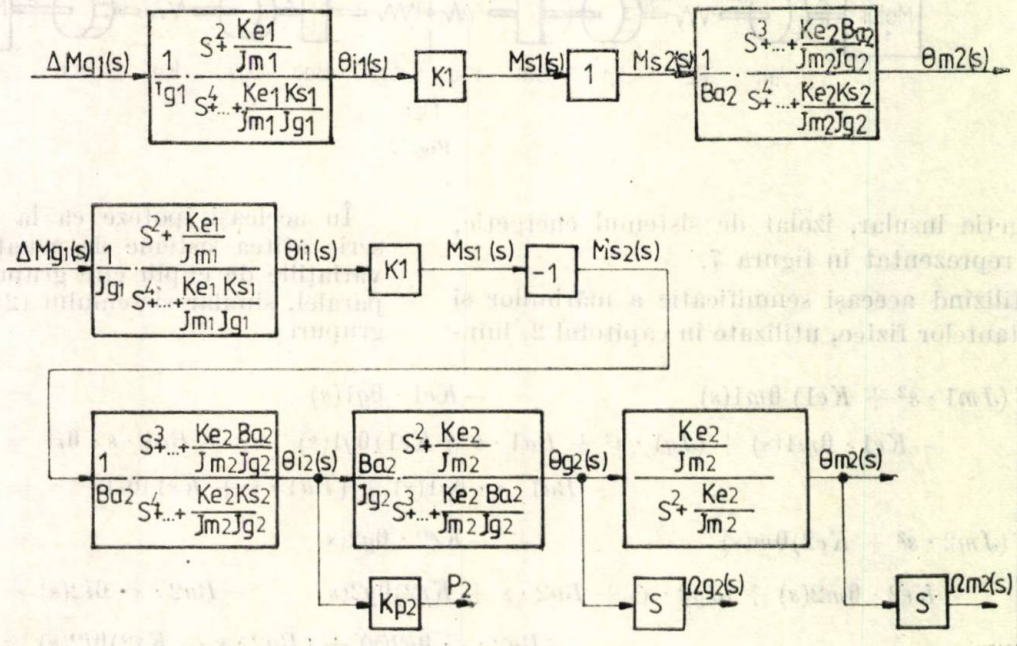


Fig. 9

Se observă că configurația poli-zerouri devine mai complexă (gradul numitorului se dublează) și sistemul este mai greu de optimizat.

Aceste funcții de transfer sînt utile pentru determinarea influenței perturbatorii a modificării cuplului-motor și încărcării unui grup asupra celuilalt la modificarea (perturbarea) alimentării cu combustibil sau producerii de cuplu activ, datorită unor defecțiuni în funcționarea motorului.

Pentru buclele de reglare a turației, frecvenței și puterii ale celui de al doilea grup perturbația în acest caz este aplicată prin elemente a căror funcții de transfer, echivalente figurii 9a, sînt reprezentate detaliat în figura 9b.

Cazul b

Reprezintă situația comportării sistemului la modificarea puterii electromagnetice a unuia din generatoare pe calea excitației care determină un proces similar cu cazul „*a*" pentru celălalt grup.

În acest caz sînt valabile funcțiile de transfer de tipul :

$$F3b(s) = \frac{\theta i1(s)}{\Delta Mg1(s)},$$

$$F3c(s) = \frac{\theta m2(s)}{Ms2a(s)},$$

$$Ms2a(s) = -\ Ms1a(s),$$

$$Ms1a(s) = K \cdot \theta i1(s).$$

Comportarea care rezultă este descrisă de o schemă-bloc ca în figura 10a, bazată pe schemele-bloc din figurile 5 și 6.

Aceste funcții de transfer sînt utile pentru determinarea influenței perturbatorii a modificării cuplului electromagnetic al unuia din generatoare, precum și a încărcării unui grup asupra celuilalt la modificări (perturbații) ale t.e.m., tensiunii la borne, sau defecte în generator și în bucla de tensiune.

Similar cazului precedent prin detaliere conform figurii 6b, se obține schema-bloc din figura 10b din care se poate extrage funcția de transfer de aplicare a perturbației fie pentru bucla de turație, fie pentru cea de frecvență sau de putere ale celui de al doilea grup.

Cazul c

Reprezintă situația comportării sistemului la modificarea puterii, cerută de consumatorii electrici la o repartiție după legea :

$$\Delta Ms = \Delta Ms1 + \Delta Ms2.$$

În acest caz sînt valabile funcțiile de transfer de tipul :

$$F1c(s) = \frac{\theta m1(s)}{Ms1(s)},$$

$$F1'c(s) = \frac{\theta m2(s))}{Ms2(s)},$$

$$Ms2(s) = Ms(s) - Ms1(s).$$

Aceste funcții de transfer sînt utile pentru determinarea influenței perturbatorii a modificării încărcării active electrice asupra ambelor grupuri la modificarea sarcinii la bare.

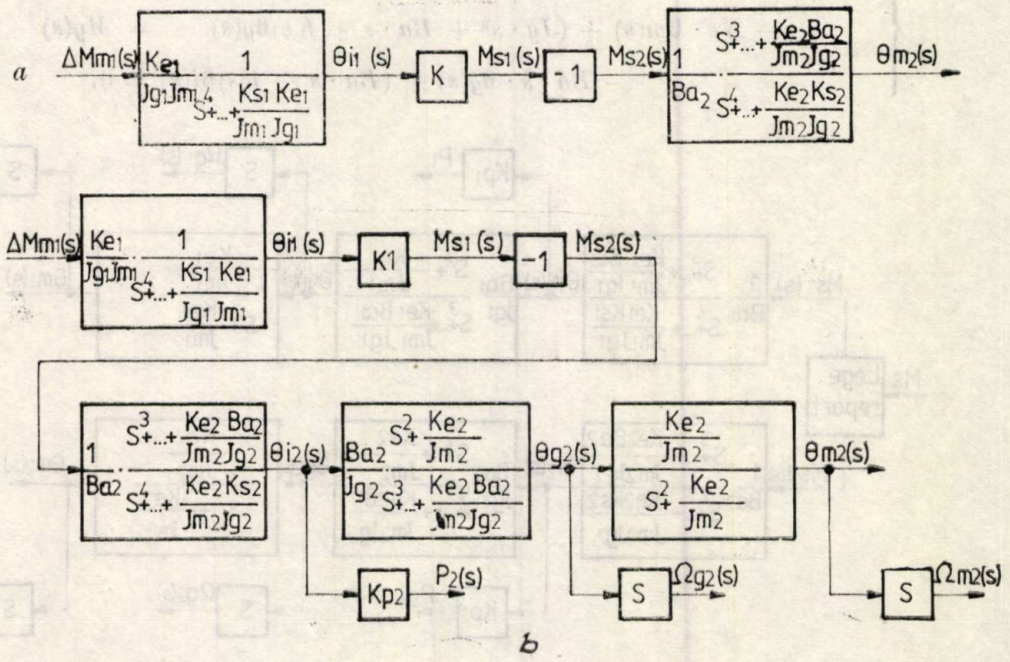


Fig. 10

Reprezentarea schemei-bloc este cea din figura 11.

ANEXA I

$$\begin{cases} (Jm \cdot s^2 + Ke)\,\theta m(s) - Ke \cdot \theta g(s) = Mm(s) \\ -Ke \cdot \theta m(s) + (Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke)\,\theta g(s) - Ba \cdot s \cdot \theta i(s) = 0 \\ -Ba \cdot s \cdot \theta g(s) + (Ba \cdot s + Ks \cdot \theta i(s) = 0, \end{cases}$$

$$D = \begin{vmatrix} Jm \cdot s^2 + Ke & -Ke & 0 \\ -Ke & Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke - Ba \cdot s \\ 0 & -Ba \cdot s & -Ba \cdot s + Ks \end{vmatrix} = (Jm \cdot s^2 + Ke) \begin{vmatrix} Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke & -Ba \cdot s \\ -Ba \cdot s & Ba \cdot s + Ks \end{vmatrix} +$$

$$+ Ke \begin{vmatrix} -Ke & -Ba \cdot s \\ 0 & Ba \cdot s + Ks \end{vmatrix} = s \cdot Jm \cdot Jg \cdot Ba\,(s^4 + \ldots + Ke \cdot Ks/Jm \cdot Jg),$$

$$\theta ma(s) = \frac{Mm(s)}{D}\,[(Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke)\,(Ba \cdot s + Ks) - Ba^2 \cdot s^2] =$$

$$= \frac{Mm(s)}{D}\,Jg \cdot Ba\,(s^3 + \ldots + Ke \cdot Ks/JgBa,$$

$$\theta ga(s) = -\frac{Mm(s)}{D}\,(-Ke \cdot Ba \cdot s - Ke \cdot Ks) = \frac{Mm(s)}{D}\,Ke \cdot Ba(s + Ks/Ba),$$

$$\theta ia(s) = \frac{Mm(s)}{D}\,Ke \cdot Ba \cdot s.$$

ANEXA II

$$\begin{cases} (Jm \cdot s^2 + Ke)\,\theta m(s) - Ke \cdot \theta g(s) = 0 \\ -Ke \cdot \theta m(s) + (Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke)\,\theta g(s) = Mg(s) \\ -Ba \cdot s \cdot \theta g(s) + (Ba \cdot s + Ks)\,\theta i(s) = 0. \end{cases}$$

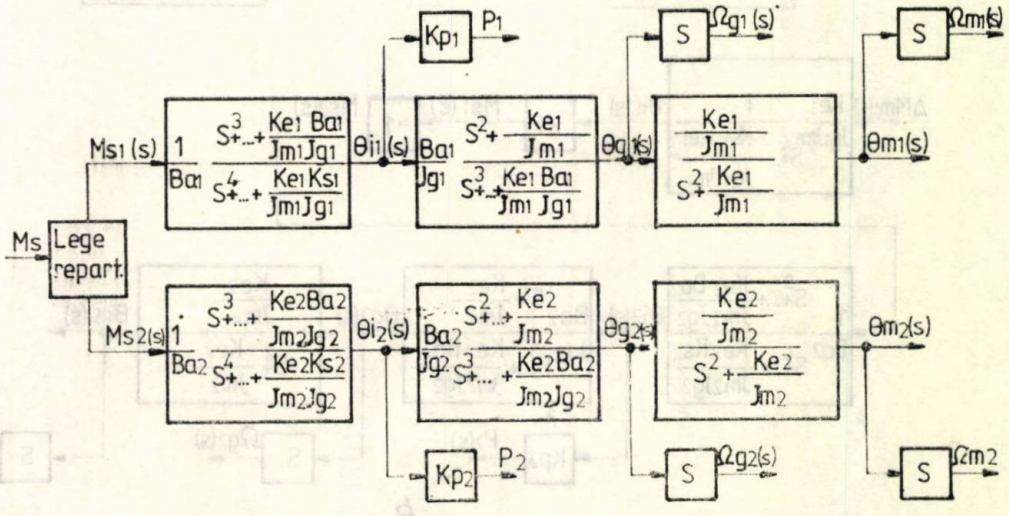


Fig. 11

$$\theta mb(s) = \frac{Mg(s)}{D}(Ke \cdot Ba \cdot s + Ke \cdot Ks) = \frac{Mg(s)}{D} Ke \cdot Ba\,(s + Ks/Ba),$$

$$\theta gb(s) = \frac{Mg(s)}{D}(Jm \cdot s^2 + Ke)(Ba \cdot s + Ks) = \frac{Mg(s)}{D} Jm \cdot Ba\,(s^2 + Ke/Jm)(s + Ks/Ba),$$

$$\theta ib(s) = -\frac{Mg(s)}{D}(Jm \cdot s^2 + Ke)(-Ba \cdot s) = \frac{Mg(s)}{D} s \cdot Jm \cdot Ba\,(s^2 + Ke/Jm).$$

ANEXA III

$$\begin{cases} (Jm \cdot s^2 + Ke)\,\theta m(s) - Ke \cdot \theta g(s) = 0 \\ -Ke \cdot \theta m(s) + (Jg \cdot s^2 + Ba \cdot s + Ke)\theta g(s) - Ba \cdot s \cdot \theta i(s) = 0 \\ -Ba \cdot s \cdot \theta g(s) + (Ba \cdot s + Ks)\theta i(s) = Ms(s), \end{cases}$$

$$\theta mc(s) = \frac{Ms(s)}{D} Ke \cdot B\,a \cdot s,$$

$$\theta gc(s) = \frac{Ms(s)}{D} Ba \cdot s(Jm \cdot s^2 + Ke) = \frac{Ms(s)}{D} s \cdot Ba \cdot Jm(s^2 + Ke/Jm),$$

$$\theta ic(s) = \frac{Ms(s)}{D}(Jm \cdot s^2 + Ke)\,Jg\ s^2 + Ba\ s + Ke) - Ke^2 = \frac{Ms(s)}{D} s \cdot Jm \cdot Jg\left(s^3 + \ldots + \frac{KeBa}{JmJg}\right).$$

4. Concluzii

Grupurile-motor diesel -generator sincron funcţionînd în paralel cu reţeaua sau formînd un sistem insular, au particularităţi care le conferă o dinamică de tip rapid faţă de cea a grupurilor termo sau hidro din sistemul energetic.

Utilizînd un model matematic al sistemului electromecanic şi electroenergetic format din motor diesel, cuplaj mecanic şi electric şi generator sincron cuplat la un sistem de bare, precum şi un sistem de referinţă unic pentru deviaţiile unghiulare considerate, solidar cu cîmpul învîrtitor la bare, comun pentru toate ansamblele motor-generator, s-a obţinut un sistem de ecuaţii dinamice pe baza cărora s-au determinat funcţiile de transfer ale elementelor sistemului, considerat ca multivariabil, prin separare de efecte, pe baza unor ipoteze practice şi de liniarizare pe porţiuni.

S-a studiat dinamica elementelor ansamblului motor-generator descrise de funcţiile de transfer, scrise în variantele posibile de tranziţii elementare ale cuplurilor active.

Sînt indicate cazurile în care descrierea dinamicii prin funcţii de transfer sînt utile şi în care se încadrează bucla de reglare, pe calea directă sau ca element de aplicare a perturbaţiei.

În cazul grupurilor cuplate în paralel, funcţionînd în sistem izolat (insular), s-a pus în evidenţă gradul mărit de instabilitate şi deficitul de amortizare datorită suprapunerii de efecte ale comportării dinamice de tipul cazurilor analizate. Aceasta reclamă pe lîngă o analiză exactă şi rezolvarea optimă (separat pe motor şi generator) a problemelor de automatică şi dispozitive suplimentare de corecţie dinamică, specializate pentru :

— repartiţia dinamică echilibrată a puterii, cu acţiune asupra turaţiei motorului de antrenare (frecvenţei) [7];

— stabilizarea şi amortizarea oscilaţiilor de putere , cu acţiune pe excitaţia generatorului [8, 9];

— limitarea dinamică a puterii la consumator [10].

Bibliografie

[1] *Piotrovski, L.* Maşini electrice, Bucureşti, Editura Tehnică 1953.

[2] *Kostenko, M., Piotrovski, L.* Machine electriques, Vol. II, Moscova, Editura Mir 1969.

[3] *Böning, W.* Leistungschwingungen beim parallelbetrieb von diesel-synchrongeneratoren. In : Siemens Zeitschrift nr. 9/1970.

[4] *Grifi h, M. Shan.* Modern a.c. generator control systems: some plain and painless facts. În: IEEE Trans. on I.A. nr. 6/1978.

[5] *Sen Gupta, D. P., Balasubramanian, N. V., Lynn, J.W.* Synchronising and damping terques in synchronous machines. În: Proc. IEE nr. 10/1067.

[6] *Savant, C. P.Jr.* Calculul sistemelor automate, Bucureşti, Editura Tehnică 1967.

[7] *Woodward Gov. Comp.* 2301 Load sharing & speed control. Buletin 82595.

[8] *Sen Gupta, D. P., Narahari, N. G., Lynn, J. W.* Damping and synchronising torques contributed by a voltage regulator to a syncronous generator: a quantitativ assessment, În: Proc. IEE nr. 8/1977.

[9] *Blaser, F.* Principe d'action ameliorè pour la stabilisation du transport de puissance active (stabilisation de glissement). Revue Brown Bovery 3/1980.

[10] *Ghiţă, V. V. ş.a.* Brevet RSR nr. 77920/1981.

CZ 621—83: 531.5

ACȚIONĂRI ELECTRICE
PROIECTARE

Alegerea și verificarea puterii motoarelor electrice funcționînd în serviciul S2

GHEORGHE MANOLEA, PROFIR DEGERATU, ALEXANDRU BITOLEANU, DAN MIHAI* — CRAIOVA

Introducere

După cum este cunoscut [8], serviciul nominal S2 este caracterizat de funcționarea motorului la un regim de lucru constant un timp t_f, suficient de mic pentru a nu se ajunge la echilibrul termic, urmat de un interval de repaos, cu durata t_0, suficient de mare pentru ca motorul să ajungă în starea practic rece.

Deoarece nu întotdeauna serviciul real coincide cu serviciul tip, sau, în practica industrială, nu se dispune de un motor construit pentru serviciul S2, este necesară utilizarea unui motor construit pentru serviciul S1 sau S3, a cărui putere trebuie adaptată la sarcina reală.

În lucrare se propune o metodologie de alegere și verificare a puterii motoarelor funcționînd în serviciul S2, care permite utilizarea eficientă a capacității de suprasarcină a motorului.

1. Verificarea puterii unui motor construit pentru serviciul S1 și utilizat în serviciul S2

Ținînd seama de regimurile de funcționare caracteristice celor două servicii, rezultă că se va alege un motor cu puterea $P_{S1} < P_{ML}$ [4,5]. Se face, mai întîi, corecția puterii nominale funcție de temperatura mediului ambiant și se verifică la cuplul de pornire.

Verificarea la suprasarcină termică constă în determinarea timpului de funcționare t_f, la sarcina cerută de mașina de lucru, după care se atinge supratemperatura nominală a mașinii (fig. 1).

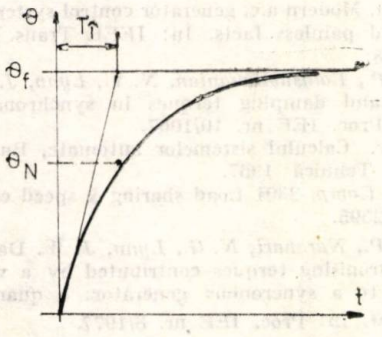


Fig. 1. Principiul verificării la suprasarcină termică pentru motoarele din serviciul S2.

Se definește coeficientul de suprasarcină termică:

$$\alpha_t = \frac{\theta_f}{\theta_N} = \frac{p_{S2}}{p_{S1}}, \tag{1}$$

$$\alpha_t = \frac{a + \alpha_M^2}{a + 1}, \tag{2}$$

unde p_{S1} reprezintă pierderile produse la funcționarea cu sarcină nominală în serviciul S1, iar p_{S2} — pierderile corespunzătoare puterii mașinii de lucru P_{ML}.

Ținînd seama de evoluția supratemperaturii:

$$\theta_N = \theta_f(1 - e^{-t_f/T_t}), \tag{3}$$

rezultă:

$$t_f = T_t \ln \frac{\alpha_f}{\alpha_t - 1}, \tag{4}$$

unde $a = \frac{p_c}{p_{cN}}$ reprezintă raportul dintre pierderile constante și pierderile variabile nominale; $\alpha_M = \frac{P_{S2}}{P_{S1}} = \frac{P_{ML}}{P_N}$ este coeficientul de suprasarcină mecanică.

Pentru ca motorul să fie bine ales trebuie îndeplinite condițiile:

a) $0 < \frac{t_f - t_{fr}}{t_f} \leqslant 0{,}2$

b) $I_{max} = \frac{P_{ML}}{U\eta} < I_{max\ ad.}$, pentru motoare de curent continuu;

$\lambda_r = \frac{P_{ML}\Omega_N}{P_N\Omega} < \lambda = \frac{M_k}{M_N}$, pentru motoare asincrone;

c) $\frac{M_{p\ catalog}}{M_N} > \frac{M_s}{M_N} = \frac{P_{ML}}{M_N\Omega}$, pentru motoare asincrone.

2. Verificarea puterii unui motor construit pentru serviciul S2

Dacă se dispune de un motor construit pentru serviciul S2 dar timpul de funcționare standardizat nu corespunde cu cel impus prin tahogramă,

* Facultatea de Electrotehnică din Craiova.

este necesară echivalarea celor două regimuri de lucru astfel încît la sfîrșitul intervalului de funcționare t_f supratemperatura motorului să nu depășească valoarea nominală.

Pentru aceasta se alege un motor cu timpul de funcționare standardizat t_f și puterea $P_{S2} < P_{ML}$, dacă timpul de funcționaree real $t_{fr} < t_f$, sau $P_{S2} > P_{ML}$, dacă $t_{fr} < t_f$.

În ipoteza că $P_{S2} < P_{ML}$, pentru a se utiliza toată capacitatea de suprasarcină termică a motorului (fig. 2) trebuie ca :

$$\theta_N = \theta_{f2}(1 - e^{-\frac{t_{fr}}{T_t}}). \tag{5}$$

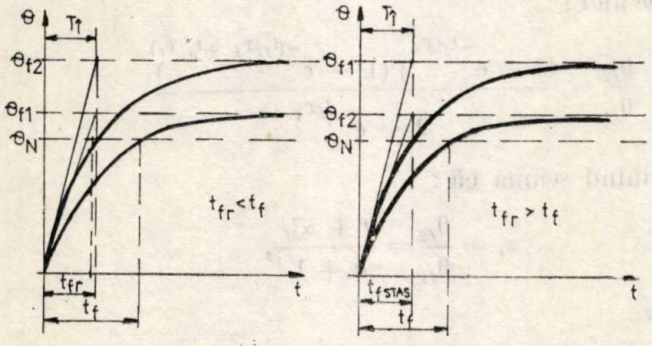


Fig. 2. Echivalarea serviciului S2 standardizat cu cel real.

Dacă motorul ar funcționa în condițiile standardizate pentru *S2*, atunci :

$$\theta_N = \theta_{f1}(1 - e^{-\frac{t_f}{T_t}}), \tag{6}$$

Coeficientul de suprasarcină termică :

$$\alpha_t = \frac{\theta_{f2}}{\theta_{f1}} = \frac{1 - e^{-t_f/T_t}}{1 - e^{-t_{fr}/T_t}} = \frac{p_{S2r}}{p_{S2}}, \tag{7}$$

unde p_{S2r} este puterea de pierderi corespunzătoare funcționării în serviciul S2 real ;

p_{S2} — puterea de pierderi corespunzătoare serviciului nominal tip.

Știind că :

$$\alpha_t = \frac{a + \alpha_M^2}{a + 1}, \tag{8}$$

iar :

$$\alpha_M = \frac{P_{S2r}}{P_{S2}} = \frac{P_{ML}}{P_N},$$

rezultă :

$$p_{S2r} = \frac{1 - e^{-t_f/T_t}}{1 - e^{-t_{fr}/T_t}} p_{S2}, \tag{9}$$

unde :

$$p_{S2} = \frac{1 - \theta_N}{1 - \theta_N} P_N. \tag{10}$$

Se determină randamentul [1] pentru noile condiții de funcționare sau se aproximează $\eta = \eta_N$ și se calculează :

$$P_2 = \frac{\eta}{1 - \eta} p_{S2r}. \tag{11}$$

Se apreciază că motorul este bine ales dacă $P_{ML} < P_2$. Metoda [2, 7], deși conduce la rezultate practice corecte, nu permite aprecierea intuitivă a rezervei de capacitate termică și a corectitudinii rezultatelor, iar condiția de alegere preliminară a puterii motorului ($P_{S2} < P_{ML}$ sau $P_{S2} > P_{ML}$) este generală.

În consecință, pe baza relației (7) s-a stabilit (fig. 3) dependența dintre coeficientul de suprasarcină mecanică α_M și t_{fr}/t_{fSTAS}, care permite o apreciere exactă a puterii motorului de acționare, apoi se calculează timpul t'_f după care supratemperatura ajunge la valoarea nominală :

$$t'_f = T_t \ln \frac{\alpha_t}{\alpha_t + 1 + e^{-t_f/T_t}} \tag{12}$$

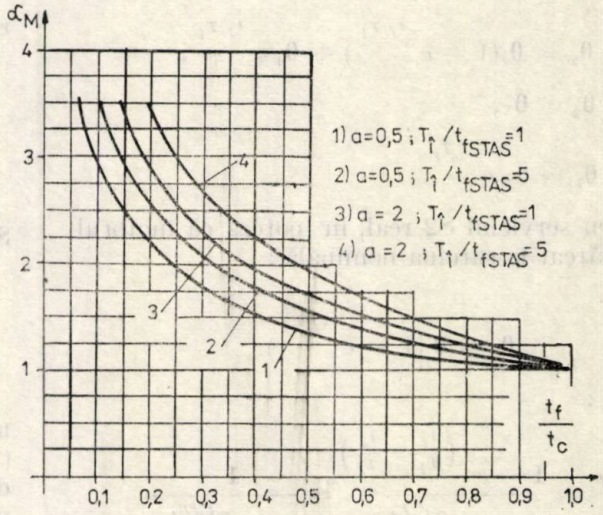


Fig. 3. Dependența dintre suprasarcina mecanică α_M și timpul real de funcționare la motoarele construite pentru S2.

Pentru ca motorul să fie bine ales trebuie îndeplinită condiția :

$$0 < \frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2. \tag{13}$$

În ipoteza că $t_{fr} > t_{fSTAS}$ și $P_{S2} > P_{ML}$ (fig. 2) rezultă

$$t'_f = T_t \ln \frac{1}{1 - \alpha_t(1 - e^{-t_f/T_t})}$$

unde : $\alpha_t = \dfrac{a+1}{a+\alpha_M^2}$; $\alpha_M = \dfrac{P_N}{P_{ML}}$.

3. Verificarea puterii motorului construit pentru serviciul S3

Dacă timpul de funcționare a mașinii de lucru este mai mare de 10 minute, se alege un motor cu puterea $P_{S3} \approx P_{ML}$. Verificarea la suprasarcină termică constă în determinarea timpului după care supratemperatura motorului ajunge la valoarea nominală (fig. 4).

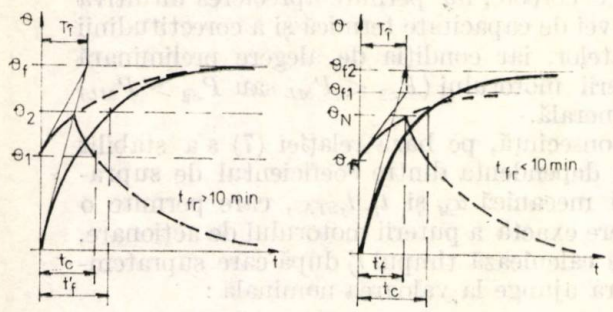


Fig. 4. Echivalarea serviciului S3 standardizat cu serviciul S2 real.

Pentru serviciul S3 :

$$\theta_2 = \theta_f(1 - e^{-t_f/T_t}) + \theta_1 e^{-t_f/T_t},$$

$$\theta_2 = \theta_N,$$

$$\theta_1 = \theta_N e^{-t_0/T_r}.$$

Pentru serviciul S2 real, în ipoteza că motorul este încărcat la sarcina nominală :

$$\theta_2 = \theta_f(1 - e^{-t_f/T_t}).$$

Rezultă :

$$\frac{\theta_f}{\theta_2} = \frac{1 - e^{-\left(\frac{t_f}{T_t} + \frac{t_0}{T_r}\right)}}{1 - e^{-t'_f/T_t}} = \frac{1}{1 - e^{-t'_f/T_t}}.$$

De aici :

$$t'_f = T_t \ln \frac{1 - e^{-(t_f/T_t + t_0/T_r)}}{e^{-t_f/T_t}(1 - e^{-t_0/T_r})}, \qquad (14)$$

Pentru ca motorul să fie bine ales trebuie îndeplinită condiția :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2.$$

În ipoteza că timpul de funcționare a mașinii de lucru este mai mic de 10 minute se alege un motor cu puterea $P_{S3} < P_{ML}$.

Pentru serviciul S3 :

$$\theta_N = \theta_{f1}(1 - e^{-t_f/T_t}) + \theta_1 e^{-t_f/T_t},$$

$$\theta_1 = \theta_N e^{-t_0/T_r}.$$

Pentru serviciul S2 real :

$$\theta_N = \theta_{f2}(1 - e^{-t'_f/T_t}).$$

De aici :

$$\frac{\theta_{f2}}{\theta_{f1}} = \frac{(1 - e^{-t_f/T_t})/(1 - e^{-(t_f/T_t + t_0/T_r)})}{1 - e^{-t'_f/T_t}}$$

Ținînd seama că :

$$\alpha_t = \frac{\theta_{f2}}{\theta_{f1}} = \frac{a + \alpha_M^2}{a+1},$$

iar :

$$\alpha_M = \frac{P_{s2}}{P_{S3}} = \frac{P_{ML}}{P_{S3}},$$

rezultă :

$$t'_f = T_t \ln \frac{\alpha_t(1 - e^{-(t_f/T_t + t_0/T_r)})}{\alpha_t(1 - e^{-t_f/T_t + t_0/T_r)}) - (1 - e^{-t_f/T_t})}. \qquad (15)$$

Se apreciază că motorul este bine ales dacă :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2.$$

Pentru a se putea aproxima inițial puterea nominală a motorului construit, pentru S3 (fig. 5) s-a stabilit dependența dintre coeficientul de suprasarcină mecanică α_M și t_{fr}/DA. Parametrului $\beta = T_t/T_{rt}$ s-au dat valori în concordanță cu recomandările literaturii de specialitate [4]

4. Algoritm pentru verificarea asistată de calculator a motoarelor funcționînd în serviciul S2

Deși utilizarea unor nomograme, diagrame etc., în proiectarea echipamentelor este practicată frecvent, metoda nu mai este performantă în prezent. De aceea se propune un algoritm care să asigure :

— selectarea serviciului nominal tip pentru care este construit motorul de verificat ;

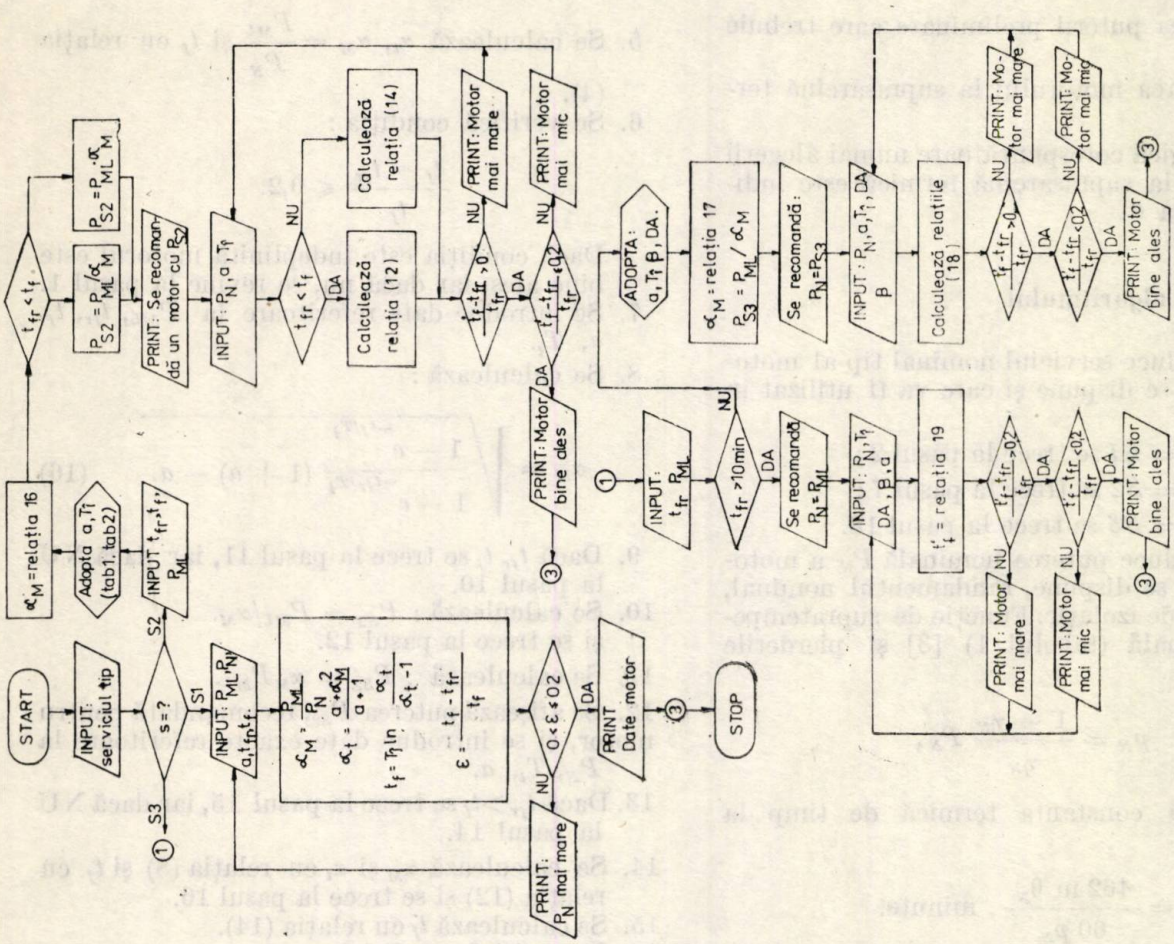


Fig. 6. Schema logică corespunzătoare algoritmului propus.

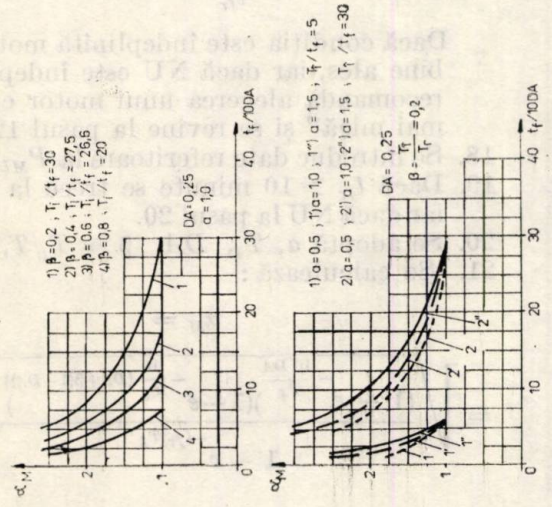


Fig. 5. Dependența dintre suprasarcina mecanică α_M și timpul real de funcționare la motoarele construite pentru S3.

— indicarea puterii preliminare care trebuie aleasă ;

— verificarea motorului la suprasarcină termică.

Schema logică corespunzătoare numai alegerii şi verificării la suprasarcină termică este indicată în figura 6.

Descrierea algoritmului

1. Se introduce serviciul nominal tip al motorului de care se dispune şi care va fi utilizat în serviciul S2
   — dacă $S = S1$ se trece la pasul 2 ;
   — dacă $S = S2$ se trece la pasul 7 ;
   — dacă $S = S3$ se trece la pasul 18.
2. Se introduce puterea nominală P_N a motorului de care se dispune, randamentul nominal, masa şi clasa de izolaţie. Funcţie de supratemperatura nominală (tabelul 1) [3] şi pierderile nominale :

$$p_N = \frac{1 - \eta_N}{\eta_N} P_N,$$

se calculează constanta termică de timp la încălzire :

$$T_t = \frac{462\ \text{m}\ \theta_N}{60\ p_N}, \text{ minute.}$$

3. Se aproximează raportul dintre pierderile constante şi pierderile variabile nominale [7], tabelul 2.
4. Se introduce puterea maşinii de lucru P_{ML} şi timpul real de funcţionare t_{fr}.

Tabelul 1

Clasa de izolaţie	A	E	B	F	H
Temperatura maximă admisă, τ max.[°C]	105	120	130	155	180
Supratemperatura maximă admisă, θ max.	60	75	80	100	125

Tabelul 2

Cod	Tip motor	$a = p_c/p_{vN}$
1	Maşini de curent continuu cu excitaţie serie	0,5 ... 1
2	Maşini asincrone	0,5 ... 1
3	Maşini de curent continuu cu excitaţie derivaţie	1,2 ... 2

5. Se calculează α_t, $\alpha_M = \frac{P_{ML}}{P_N}$ şi t_f cu relaţia (4).
6. Se verifică condiţia :

$$\frac{t_f - t_{fr}}{t_f} \leqslant 0{,}2.$$

Dacă condiţia este îndeplinită motorul este bine ales, iar dacă nu, se revine la pasul 1.

7. Se introduc date referitoare la P_{ML}, t_{fr}, t_f, a, T_t.
8. Se calculează :

$$\alpha_M = \sqrt{\frac{1 - e^{-t_f/T_t}}{1 - e^{-t_{fr}/T_t}}(1 + a) - a}. \qquad (16)$$

9. Dacă t_{fr} t_f se trece la pasul 11, iar dacă NU la pasul 10.
10. Se calculează : $P_{S2} = P_{ML}/\alpha_M$.
    şi se trece la pasul 12.
11. Se calculează : $P_{S2} = \alpha_M P_{ML}$.
12. Se afişează puterea P_{S2}, recomandată pentru motor, şi se introduc date exacte referitoare la P_N, T_t, a.
13. Dacă $t_{fr} > t_f$ se trece la pasul 15, iar dacă NU la pasul 14.
14. Se calculează α_M şi α_t cu relaţia (8) şi t_f cu relaţia (12) şi se trece la pasul 16.
15. Se calculează t'_f cu relaţia (14).
16. Se verifică condiţia :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} > 0.$$

Dacă condiţia este îndeplinită se trece la pasul 17, iar dacă NU „se recomandă alegerea unui motor cu puterea mai mare" şi se revine la pasul 12.

17. Se verifică condiţia :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2.$$

Dacă condiţia este îndeplinită motorul este bine ales, iar dacă NU este îndeplinită „se recomandă alegerea unui motor cu puterea mai mică" şi se revine la pasul 12.

18. Se introduc date referitoare la P_{ML}, t_{fr}.
19. Dacă $t_{fr} > 10$ minute se trece la pasul 25, iar dacă NU la pasul 20.
20. Se adoptă a, T_t, DA, $\beta = T_t/T_r$.
21. Se calculează :

$$\alpha_M = \sqrt{\frac{(1 - e^{-\frac{10\,DA}{T_t}})(1 - e^{-\frac{10}{T_t}(DA + \beta(1 - DA))})}{1 - e^{-t_{fr}/T_t}}(a+1) - a}$$

(17

se recomandă un motor cu puterea $P_{S3} = P_{ML}/\alpha_M$.

2. Se introduc date referitoare la P_N, a, T_i, β se calculează :

$\alpha_M = P_{ML}/P_N$, respectiv α_t și :

$$= T_i \ln \frac{\alpha_t\left(1 - e^{-\frac{10}{T_i}(DA+\beta(1-DA))}\right)}{\alpha_t\left(1-e^{-\frac{10}{T_i}(DA+\beta(1-DA))}\right)-\left(1-e^{-\frac{10}{T_i}DA}\right)} \quad (18)$$

3. Se verifică condiția :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} > 0.$$

Dacă condiția este îndeplinită se trece la pasul următor, iar dacă NU „se recomandă alegerea unui motor cu puterea mai mare" și se revine la pasul 22.

4. Se verifică condiția :

$$\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2.$$

Dacă este îndeplinită condiția motorul este bine ales, iar dacă NU este îndeplinită „se recomandă alegerea unui motor cu puterea mai mică" și se revine la pasul 22.

25. Se recomandă $P_{S3} \approx P_{ML}$.

26. Se introduc date exacte referitoare la P_N, T_i, a, DA, β.

27. Se calculează :

$$t'_f = T_i \ln \frac{1 - e^{-\frac{10}{T_i}(DA+\beta(1-DA))}}{e^{-\frac{10}{T_i}DA}\left(1 - e^{-\frac{10}{T_i}(1-DA)}\right)} \quad (19).$$

28. Se verifică condiția : $\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} > 0$.

Dacă această condiție este îndeplinită se trece la pasul următor, iar dacă NU „se recomandă alegerea unui motor cu puterea mai mare" și se revine la pasul 26.

29. Se verifică condiția : $\frac{t'_f - t_{fr}}{t_{fr}} \leqslant 0{,}2$. Dacă este îndeplinită, motorul este bine ales, iar dacă NU „se recomandă un motor cu puterea mai mică" și se revine la pasul 26.

5. Verificări experimentale

S-a considerat o mașină de lucru avînd $P_{ML} = 10{,}6$ kW și care funcționează într-un regim de scurtă durată cu $t_{fr} = 18$ minute. Se cere alegerea și verificarea unui motor adecvat.

a. Se consideră motoarele [4] 132S 38—4 cu $P_N = 5{,}5$ kW, $\eta_N = 0{,}84$, $m = 54$ kg și 112M 28—4 cu $P_N = 4$ kW, $\eta_N = 0{,}82$, $m = 38$ kg construite pentru serviciul S1.

Rezultă $T_i = 31$ minute, respectiv 26 minute și se adoptă $a = 0{,}8$.

Rezultă : $\alpha_M = 1{,}92$; $\alpha_t = 1{,}52$; $t_f = 33$ minute, respectiv $\alpha_M = 2{,}65$; $\alpha_t = 4{,}34$; $t = 6$ minute. Deci, pentu motorul 132S se utilizează bine capacitatea de suprasarcină termică, iar motorul 112 M este suprasolicitat atît mecanic cît și termic.

b. Se consideră motoarele [6] Ci 82 cu $P_N = 11$ kW și $t_f = 30$ minute și Ce 61 cu $P_N = 6{,}1$kW și $t_f = 60$ minute.

Se calculează $T_i = 25$ minute și se aproximează $a = 1{,}8$.

Se calculează inițial : $\alpha_M = 1{,}41$, pentru $t_f = 30$ minute și $\alpha_M = 1{,}7$, pentru $t_f = 60$ minute.

Deoarece $t_{fr} < t_f$, rezultă : $P_{S2} = 10{,}6/1{,}41 = 7{,}5$ kW, respectiv $P_{S2} = 10{,}6/1{,}7 = 6{,}23$ kW.

Se adoptă motorul Ce 61 și se calculează $T_i = 64$ minute, $\alpha_M = 1{,}73$; $\alpha_t = 1{,}71$; $t'_f = 28$ minute, rezultînd că acesta se adaptează bine condițiilor impuse.

c. Se consideră motoarele MTKN cu $P_N = 13$ kW, $\eta_N = 0{,}786$, $m = 95$ kg și respectiv $P_N = 9$ kW, $\eta N = 0{,}739$, $m = 155$ kg, $DA = 0{,}25$; $\beta = 0{,}5$.

Se calculează : $T_i = 34$ minute, $t'_f = 18{,}64$ minute pentru $P_N = 13$ kW, respectiv $T_i = 32$ minute și $t'_f = 17{,}57$ minute.

Rezultă că motorul de 13 kW se adaptează bine condițiilor reale.

6. Concluzii

La sistemele de acționare polimotoare moderne se întîlnesc frecvent motoare funcționînd în serviciul S2. Algoritmul propus, ușor de implementat pe un sistem de calcul particular, permite alegerea și verificarea motorului funcționînd în serviciul S2 și construit pentru serviciile S1, S2 sau S3, astfel încît să se poată utiliza eficient capacitatea de suprasarcină termică a motorului.

Necesitatea utilizării unui motor la parametrii maximi admisibili, în condiții diferite de cele nominale, impune ca fabricantul acestuia să indice, în fila de catalog, mai mulți parametri tehnici nominali decît se indică în prezent.

Bibliografie

[1] *Degeratu, P.* ș.a. Analytical determination of the D.C. motor efficiency under actual operating conditions. In: Proceedings of the Forth National Symposium and cryoelectrotehnics. Craiova, november 1986.

[2] *Fransua, Al.* ș.a. Mașini și acționări electrice, București, E.D.P., 1967.

[3] *Saal, C., Szabo, W.* Sisteme de acţionare electrică. Determinarea parametrilor de funcţionare. Bucureşti, E.T. 1981.
[4] *Seracin, E., Popovici, D.* Tehnica acţionărilor electrice. Bucureşti, E.T. 1985.
[5] *Tunsoiu, Gh., Seracin, E., Saal, C.* Acţionări electrice Bucureşti, E.D.P. 1982.
[6] *Veşenevschi, N.S.* Caracteristicile motoarelor utilizate în acţionările electrice. Bucureşti, E.T. 1969.
[7] *Vogel, J.*, Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen. Berlin, Veb Verlag Technik 1977.
[8] * * * STAS 1893—78.

CZ 621.313.3: 621.3.015

CONDENSATOARE DE PUTERE
REGIM DEFORMANT

Contribuţii privind analiza funcţionării condensatoarelor din instalaţiile de compensare a factorului de putere în regim deformant

TRAIAN BĂLAN*, DANA BĂLAN*, ROMEO CIOBANU, IORGU CIOBANU **

Introducere

Regimul deformant industrial, produs de convertizoarele statice şi de receptorii deformanţi, poate conduce la deteriorarea condensatoarelor utilizate în bateriile de compensare a factorului de putere sau în filtrele de absorbţie-refulare, chiar dacă acestea sînt corect proiectate conform normativelor în vigoare. Aceste defecţiuni apar, de obicei, sub forma unei îmbătrîniri accelerate, a umflării şi distrugerii condensatorului.

Normativul PE 143/1980 al M.E.E. elaborat de ICEMENERG Bucureşti prevede parametrii limită pentru regimul deformant, iar în cazul proiectării filtrelor şi a bateriilor de compensare un număr minim de verificări. Dacă limitarea în tensiune este comună tuturor condensatoarelor, indiferent de tipul sau domeniul lor de utilizare, celelalte limitări sau încercări nu sînt suficient de justificate în literatură [1, 2].

Dat fiind caracteristicile condensatoarelor, fabricate cu dielectrici polari, este necesar un alt mod de abordare a studiului funcţionării acestora în regim deformant.

În literatură [2, 5, 6, 7] se face abstracţie de caracteristicile reale de funcţionare, considerîndu-se tangenta unghiului de pierderi dielectrice (tgδ) constantă pînă la armonici destul de ridicate, independentă de temperatură, iar străpungerea sau distrugerea condensatorului se admite de tip „electric" (prin pulsuri ale supratensiunilor de rezonanţă) şi nu „termică", aşa cum arată observaţiile practice.

Lucrarea urmăreşte definirea unor factori de supraîncărcare a condensatoarelor ce lucrează în regim deformant, factori bazaţi pe fenomene fizice (pierderi, încălzire etc.), destinat limitărilor impuse de normative, atunci cînd se cunosc spectrul tensiunii sau curentului deformant şi parametrii schemei electrice echivalente a condensatorului.

1. Caracteristicile condensatoarelor cu dielectrici polari

Condensatoarele destinate compensării factorului de putere, fabricate sau utilizate în Republica Socialistă România, sînt realizate din doi dielectrici polari : hîrtie de condensator şi lichide de impregnare sintetice clorurate. Ansamblul acestor dielectrici prezintă polarizare de tip interfacial, cu caracteristici de frecvenţă şi temperatură similare (numite caracteristici de absorbţie) figura 1, începînd cu frecvenţele inferioare celor industriale, caracteristicilor dielectricilor polari lichizi de impregnare, care au influenţa preponderentă, figura 2. În figura 3 este reprezentată caracteristica de absorbţie a condensatoarelor de 0,25μF/15 kV realizate în ţară cu tehnologia amintită, carac-

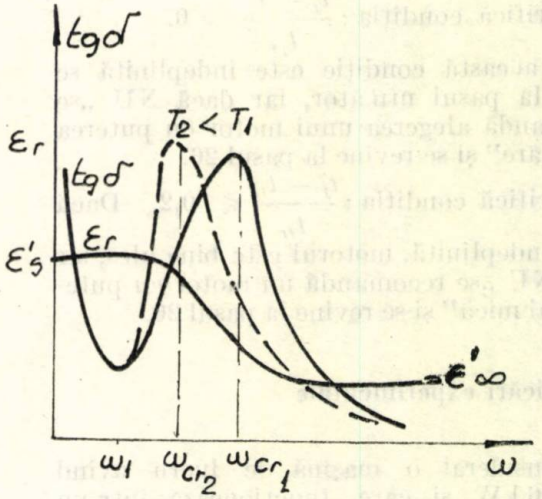


Fig. 1. Caracteristici de absorbţie la dielectrici cu polarizare interfacială.

* Şef lucr. dr. ing. *Bălan, T.* şi şef. lucr. ing. *Bălan, D.* I. P. Iaşi — Facultatea de Electrotehnică.;
** Ing. *Ciobanu, R.* şi ing. *Ciobanu, I.* — Întreprinderea de Celuloză, Hîrtie şi Cartoane — Piatra Neamţ.

teristică în măsură să justifice încercarea de asimilare a funcționării condensatorului real cu un condensator ideal cu dielectric polar lichid (figura 2), pentru care parametrii schemei echivalente au semnificație fizică de polarizare concretă și sînt perfect determinabili în practică (fig. 4 a).

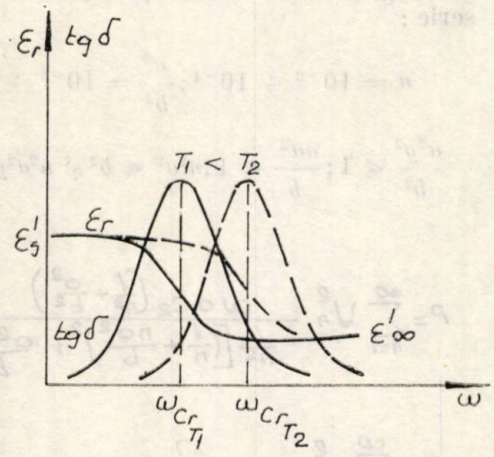


Fig. 2. Caracteristici de absorbție la dielectrici polari lichizi.

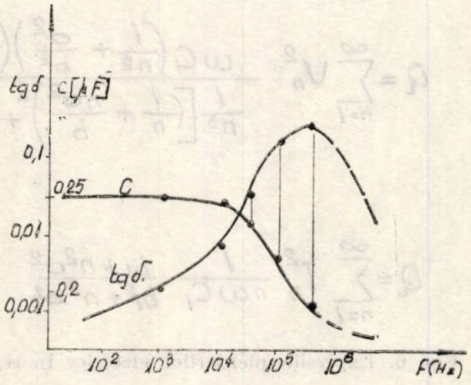


Fig. 3. Caracteristicile reale ale condensatoarelor de 0,25 μF/15 kV.

Dacă în cazul dielectricilor polari lichizi C_1 și C_2 sînt legați de polarizarea electronică, respectiv dipolară, $\tau = R_2C_2$ fiind timpul de relaxare, în schema electrică echivalentă propusă pentru condensatorul real (identică), C_1 reprezintă capacitatea măsurată la frecvențe foarte mari (2—3 ordine de mărime mai mari decît $\omega_{cr}/2\pi$) $C_1 + C_2$ este capacitatea condensatorului, măsurată la frecvențe foarte joase (eventual în regim tranzitoriu) iar $\tau = R_2C_2$ este legată de pulsația critică $\tau = 2\pi/\omega_{cr}$.

Parametrii schemei echivalente se pot determina printr-o metodă practică accesibilă [3].

Caracteristicile de absorbție sînt descrise de relații cunoscute în literatură [1], suferind deplasări accentuate spre frecvențe mici la scăderea temperaturii. În figura 4 b este reprezentată o schemă — serie, obținută prin transformarea schemei electrice echivalente din figura 4 a, mai convenabilă de utilizat în studiul regimului deformant, relațiile fiind [4]:

$$C_s = \frac{(C_1+C_2)^2 + \omega^2 C_1 \tau^2}{C_1 + C_2 + \omega^2 \tau^2 C_1}$$

$$R_s = \frac{\tau_2 C}{(C_1 + C_2)^2 + \omega^2 \tau^2 C_1^2}$$

$$\operatorname{tg}\delta_s = \frac{\omega \tau C_2}{C_1 + C_2 + \omega^2 \tau^2 C_1}$$

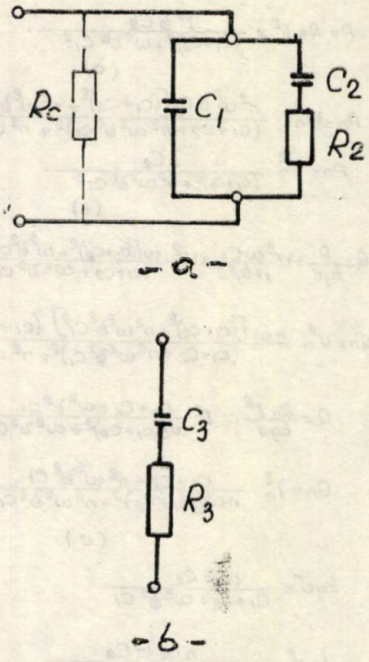


Fig. 4. Scheme electrice de pierderi: a — dielectric polar lichid; b — simplificată-serie.

2. Influența cîmpului electric alternativ sinusoidal asupra puterilor și pierderilor dielectrice

Considerînd schema electrică echivalentă propusă anterior, puterea activă disipată în dielectricul condensatorului în cîmp electric sinusoidal de pulsație ω arată ca în figura 5 a.

Dacă pulsația cîmpului este $n\omega$, relațiile devin conform figurii 5 b.

Similar, pentru puterea reactivă la pulsațiile ω, respectiv $n\omega$, se pot scrie relațiile conform figurii 5 c.

Pierderile dielectrice se apreciază prin tg δ, respectiv tg δn (fig. 5 d).

Pentru frecvențe foarte mari $n\omega \to \infty$ relațiile devin:

$$P_{n\infty} = U_n^2 \frac{C_2}{\tau} = \frac{U_n^2}{R_2},$$

$$P_{n\infty} = I_n^2 \frac{C_2}{n^2\omega^2\tau C_1^2},$$

respectiv :

$$Q_n = U_n^2\, n\, \omega C^\circ,$$

$$Q_n = \frac{I_n^2}{n\omega C_1}.$$

și $\operatorname{tg}\delta_n = \dfrac{C_2}{n\omega_2 C_1}$

$$P = U^2\omega C_2 \frac{\operatorname{tg}\delta}{1+\operatorname{tg}^2\delta} = U^2 \frac{\omega^2 b C_2\left[(C_1+C_2)^2+\omega^2 b^2 C_1^2\right]}{(C_1+C_2+\omega^2 b^2 C_1)^2+\omega^2 b^2 C_2^2},$$

$$P = R_b I^2 = \frac{I^2 b C_2}{(C_1+C_2)^2+\omega^2 b^2 C_1^2}, \qquad (a)$$

$$P_n = U_n^2 \frac{n^2\omega^2 b C_2\left[(C_1+C_2)^2+n^2\omega^2 b^2 C_1^2\right]}{(C_1+C_2+n^2\omega^2 b^2 C_1)^2+n^2\omega^2 b^2 C_2^2},$$

$$P_n = I_n^2 \frac{b C_2}{(C_1+C_2)^2+n^2\omega^2 b^2 C_1^2}. \qquad (b)$$

$$Q = \frac{P}{\operatorname{tg}\delta} = U^2\frac{\omega C_2}{1+\operatorname{tg}^2\delta} = U^2 \frac{\omega\left[(C_1+C_2)^2+\omega^2 b^2 C_1^2\right](C_1+C_2+\omega^2 b^2 C_1)}{(C_1+C_2+\omega^2 b^2 C_1)^2+\omega^2 b^2 C_2^2}$$

$$Q_n = U_n^2 \frac{n\omega\left[(C_1+C_2)^2+n^2\omega^2 b^2 C_1^2\right](C_1+C_2+n^2\omega^2 b^2 C_1)}{(C_1+C_2+n^2\omega^2 b^2 C_1)^2+n^2\omega^2 b^2 C_2^2}$$

$$Q = \frac{R_b I^2}{\operatorname{tg}\delta} = I^2 \frac{C_1+C_2+\omega^2 b^2 C_1}{\omega\left[(C_1+C_2)^2+\omega^2 b^2 C_1^2\right]}$$

$$Q_n = I_n^2 \frac{C_1+C_2+n^2\omega^2 b^2 C_1}{n\omega\left[(C_1+C_2)^2+n^2\omega^2 b^2 C_1^2\right]}$$

$$(c)$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\omega b C_2}{C_1+C_2+\omega^2 b^2 C_1}$$

$$\operatorname{tg}\delta_n = \frac{n\omega b C_2}{C_1+C_2+n^2\omega^2 b^2 C_1}$$

$$(d)$$

Fig. 5. Expresiile puterilor și pierderilor electrice în regim sinusoidal.

3. Influența cîmpului electric alternativ nesinusoidal asupra puterilor și pierderilor dielectrice

În regim periodic nesinusoidal puterea activă este :

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} P_n,$$

iar pentru puterea reactivă se admite o relație similară :

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n.$$

Explicitînd relațiile în funcție de expresiile din figura 5 se obțin expresiile (fig. 6), unde s-a notat cu $a = \omega\tau$, $y = C_2/C_1$, $y_1 = C_1/C_2$, $b = (C_1 + C_2)/C_1$ și $b_1 = (C_1 + C_2)/C_2$, Un și In fiind ponderile armonicilor de tensiune și de curent de rang n din descompunerea în serie Fourier a semnalului periodic nesinusoidal aplicat.

Pentru cazul real al dielectricilor polari se admite :

$\tau = 10^{-5} \div 10^{-7}$ s ; $b = 4 \div 5$; $b_1 = 2 \div 3$; $y_1 = 0{,}5 \div 0{,}5$.

Cu erori minime, considerînd armonicile pînă la rangul 25, la frecvența de 50 Hz se poate scrie :

$$a = 10^{-3} \div 10^{-4}; \frac{a^2}{b^2} = 10^{-5} \div 10^{-7};$$

$$\frac{a^2y^2}{b^2} \ll 1; \frac{na^2}{b} \ll 1; n^2a^2 \ll b^2 \text{ și } n^2a^2y_1 \ll b_1^2.$$

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \frac{\omega a C_2\left(\frac{1}{n^2}+\frac{a^2}{b^2}\right)}{\frac{1}{n^2}\left[\left(\frac{1}{n}+\frac{na^2}{b}\right)^2+\frac{a^2y^2}{b^2}\right]}$$

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \frac{b}{C_2\left(b_1^2+n^2a^2y_1^2\right)}$$

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \frac{\omega C_1\left(\frac{1}{n^2}+\frac{a^2}{b^2}\right)\left(\frac{b}{n^2}+a^2\right)}{\frac{1}{n^3}\left[\left(\frac{1}{n}+\frac{na^2}{b}\right)^2+\frac{a^2y^2}{b^2}\right]}$$

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \frac{1}{n\omega C_1} \frac{b_1+n^2a^2}{b_1^2+n^2a^2}$$

Fig. 6. Expresiile pierderilor electrice în regim deformant

În aceste condiții, expresiile din figura 6 se pot simplifica, obținîndu-se relații de calcul utile în majoritatea aplicațiilor practice, cu erori minime :

$$P = \omega^2\tau C_2 \sum_{n=1}^{25} I_n^2,$$

$$P = \frac{\tau C_2}{(C_1+C_2)^2} \sum_{n=1}^{25} I_n^2,$$

și :

$$Q = \omega\,(C_1+C_2) \sum_{n=1}^{25} n\, U_n^2,$$

$$Q = \frac{1}{\omega(C_1+C_2)} \sum_{n=1}^{25} \frac{I_n^2}{n}.$$

Aceste relații permit stabilirea unor coefi-cienți de supraîncărcare în regim deformant

pentru puterea activă și reactivă, sau pentru supraîncălzirea datorată pierderilor dielectrice.

Dacă se notează cu P_1, Q_1 puterea activă și reactivă la pulsația fundamentală ω, se pot defini :

— factor de supraîncărcare în putere activă în regim deformant :

$$K_p = \frac{P}{P_1} = \frac{\sum_{n=1}^{25} n^2 U_n^2}{U_1^2},$$

sau : $K_p = \dfrac{\sum_{n=1}^{25} I_n^2}{I_1^2}$.

Punînd în legătură K_p cu coeficientul de distorsiune al curentului δ_I se obține :

$$\delta_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{25} I_n^2}{I_1^2}}$$

și : $K_p = \delta_I^2 + 1$,

— factor de supraîncărcare în putere reactivă în regim deformant :

$$K_Q = \frac{Q}{Q_1} = \frac{\sum_{n=1}^{25} n\, U_n^2}{U_1^2}$$

sau : $K_Q = \dfrac{\sum_{n=1}^{25} \frac{I_n^2}{n}}{I_1^2}$.

Pentru calculul unor eventuale caracteristici tip „izotangentă δ" care ar fixa în coordonate (ω, T) intervalele de temperatură și de frecvență la care se poate realiza o funcționare optimă la încălzirea constantă a dielectricului (pierderi = constant) se poate defini un echivalent al pierderilor dielectrice :

$$A = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} P_n}{\sum_{n=1}^{\infty} Q_n} = \omega\tau \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{\sum_{n=1}^{25} n^2 U_n^2}{\sum_{n=1}^{25} n U_n^2},$$

sau :

$$A = \frac{\omega\tau C_2}{C_1 + C_2} \frac{\sum_{n=1}^{25} I_n^2}{\sum_{n=1}^{25} I_n^2/n}.$$

Ținînd seama că încălzirea este dată de puterea disipată activă, caracteristicile tip „Izopierderi dielectrice" se pot trasa în coordonate (K_p, T) pentru regim deformant cunoscut, justificînd anumite restricții impuse de normativele în vigoare și fiind utile și ușor de folosit în practică, la nivel de proiectant sau de utilizator.

Concluzii

1. Coeficientul de distorsiune al tensiunii δu nu poate fi considerat ca un criteriu de apreciere în discuția regimului deformant, limitarea actuală fiind insuficient justificată teoretic. Studiul arată că rangul armonicelor are importanță mai mare decît ponderea lor.

2. Considerînd deteriorarea condensatoarelor ca urmare a unui regim termic necorespunzător de durată, datorat armonicilor și produs prin pierderi, datorate polarizării, definirea factorului K_p permite stabilirea unui criteriu de apreciere — tensiunea echivalentă de regim permanent pe fundamentală care produce aceeași încălzire cu regimul periodic nesinusoidal considerat.

Relația de definire K_p permite o corelare cu normativul de încercare a condensatoarelor la tensiunea de durată. Ea arată că trebuie limitate armonicile superioare și mai puțin cele inferioare (cu excepția celor care creează cuplu invers la mașinile electrice).

Dacă s-ar utiliza în calcul tensiunile de rezonanță pe fiecare armonică, restricțiile impuse ar fi mult mai severe.

3. Coeficientul de distorsiune în curent δ_I poate constitui un criteriu de apreciere a funcționării condensatoarelor în regim deformant :

$$K_p = \delta_I^2 + 1 \quad \delta_I^2 = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}$$

În funcție de supratensiunea de durată admisă pe fundamentală se pot stabili coeficienți de distorsiune în curent maxim admisibili. Avantajul relațiilor folosite este dat de legătura directă a factorului de distorsiune în curent și a celui de supraîncărcare în putere activă cu valoarea efectivă a curentului total (măsurabil practic cu un aparat electrodinamic).

4. Relațiile permit elaborarea unor criterii de apreciere și în funcție de armonicele de curent, problemă formulată pînă acum doar ca ipoteză posibilă de lucru.

5. Toate relațiile de mai sus sînt raportate la valoarea reală a tensiunii sau curentului de fundamentală : U_1, I_1 rezultate din analiza spectrală. În cazul valorilor nominale U_N, I_N relațiile devin :

$$K_{pN} = \frac{I_N^2}{I_1^2} \frac{\sum I_n^2}{I_N^2} = \frac{U_N^2}{U_1^2} \frac{\sum n U_n^2}{U_N^2},$$

$K_{pN} > K_p$ deoarece $U_N > U_1$ și $I_N > I_1$.

6. Este necesar de revizuit criteriul de supracurent și de energie reactivă în funcție de fenomene fizice reale ca : încălzire (pe baza puterii active disipate) etc.

7. Este necesar ca laboratoarele de cercetare ale producătorilor să furnizeze la omologare, caracteristicile de dispersie la diverse temperaturi de lucru, care ar permite o evaluare a parametrilor schemei echivalente de pierderi și aprecia corect comportarea dielectricului la scăderea temperaturii, evitînd pericolul deteriorării termice.

Bibliografie

[1] *Tareev, B.* Physics of Dielectric Materials. Mir Pul shers Moscow 1975.
[2] *Viale, F.* RGE 1980 nr. 12, p. 187.
[3] *Bălan, T. și Bălan, D.* Simpozion TEEF Iași 1—3 d 1983, vol. I, p. 125.
[4] *Bălan, D., Bălan, T. și Ciobanu, R.* Buletin științ I.P. Iași 1986 tom. XXXII, fasc. 1—4 secția III p.
[5] P.E. — 143/1980 al M.E.E.
[6] *Balaurescu, D. și Eremia, M.* Îmbunătățirea factoru de putere, Ed. Tehnică, București, 1982.
[7] *Grzybowski, S.* Condensatoare în electroenergetică. Tehnică, București, 1966.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ȘI AUTOMATICA" (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) București. Articolele propuse spre publicare și cererile de abonamente se vor trimite la redacția revistei, București, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 și 695, pla abonamentelor făcîndu-se prin mandat poștal adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45— București, cont virament nr. 301700301 BNRSR, fil la sector 5. Costul unui abonament anual pentru u tăți industriale și instituții, ca și pentru persoa particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abor mente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei.

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA și AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM" — departamentul export — import presă — București — Calea Griviței nr. 64—66. P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea Poligrafică „Informația"
București, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2531

OMSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI KÖNYVTÁR 1983

E 2040/1

ETE

1989 APR 01

Electrotehnica Electronica Automatica

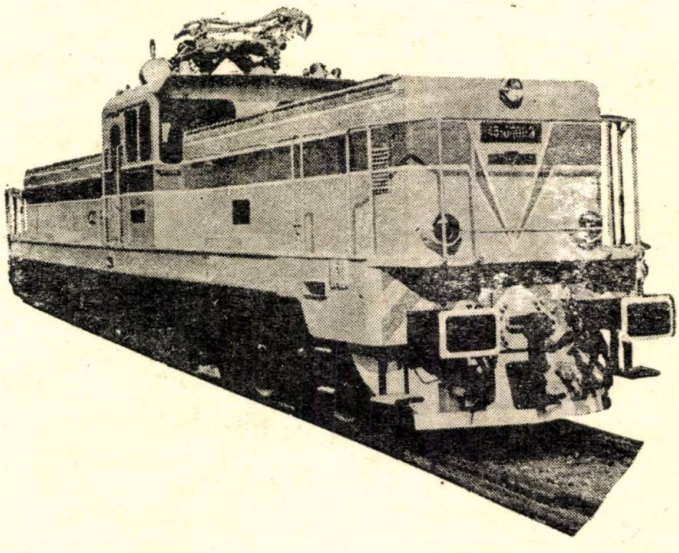
ELECTROTEHNICA • BUCUREȘTI • ANUL 36 • NR. 8 • DECEMBRIE 1988

I.C.S.I.T. – M.T.A.E. – CRAIOVA

CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA – ROMÂNIA

TELEFON 44494, TELEX 41234

ICSIT MTAE CRAIOVA



PROIECTEAZĂ

LOCOMOTIVA ELECTRICĂ DE MANEVRĂ GREA ŞI SERVICIU MIXT DE 1 200 kW

destinată serviciului de manevră grea (varianta balastată) în triajele electrificate şi serviciului mixt pe secţii secundare, cînd se demontează balastul fix.

Reglajul se face pe partea de joasă tensiune cu punţi semicomandate, curentul şi viteza prestabilite reglîndu-se automat în funcţie de valorile prescrise.

Comanda şi supravegherea se realizează electronic cu protecţii la patinare, suprasarcină şi intervenţii anticabraj boghiuri.

Locomotiva este prevăzută cu posibilitate de autodeplasare de la propriile baterii pe o distanţă de circa 2 km la fiecare 12 ore.

Tensiunea de alimentare: 25 kV, 50 Hz.

Greutatea: 126/111 tone (balastată/nebalastată).

Viteza maximă: 100 km/h.

MECANO EXPORTIMPORT

BUCHAREST-ROMANIA

ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ANUL 36 Nr. 8 decembrie 1988

ELECTROTEHNICA

CUPRINS

CZ 537—856—519.6

EFECT PELICULAR ÎN CONDUCTOARE
METODA NUMERICĂ CU DIFERENŢE FINITE

Stavarache, P., Burghina, E., Pătruţoiu, N.: **Studiul efectului pelicular în conductoare prin metoda diferenţelor finite.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec 1988, p. 281

Se prezintă o metodă numerică bazată pe diferenţe finite. Utilizînd potenţialul magnetic-vector se scriu ecuaţiile Helmholtz în complex şi se transpun în diferenţe finite, propunîndu-se noi ipoteze de calcul pentru determinarea condiţiilor de frontieră. Metoda propusă este verificată în cazul barei de secţiune pătrată. În final, se prezintă concluziile privind avantajele metodei şi ale modalităţilor de aplicare.

CZ 621.313.12

GENERATOR SINCRON
SISTEM DE COMPUNDAJ

Enache, I., Stavarache, P., Corăci, E.: **Determinarea parametrilor transformatoarelor din schemele de compundaj ale generatoarelor sincrone.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec 1988, p. 285

Articolul prezintă o metodă de determinare a parametrilor ce trebuie impuşi în alegerea sau proiectarea transformatoarelor de compundaj pentru ca la variaţii ale sarcinii, de la gol la sarcină nominală, indiferent de factorul de putere al sarcinii, tensiunea generatorului să rămînă constantă. Se analizează apoi circulaţia curenţilor în diferite regimuri de funcţionare şi funcţionarea atît în gol, cît şi în sarcină a generatorului sincron cu sistem de excitaţie compund.

CZ 621.337

RAMA ELECTRICĂ SUBURBANĂ
MOTOARE DE C.C. CU EXCITAŢIE SEPARATĂ
BUCLĂ DE REGLARE AUTOMATĂ

Iacob, A., Grămescu, M., Dobre, C.: **Studierea buclei de reglare automată la rama electrică suburbană folosind calculatorul.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec 1988, p. 291

Lucrarea discută stabilirea buclei de reglare automată pentru ramele electrice suburbane, acţionate cu motoare de curent continuu cu excitaţie separată; bucla realizează reglarea în cascadă a curentului şi turaţiei motoarelor. Scopul final al lucrării este acordarea optimă a regulatoarelor şi studiul stabilităţii sistemului de reglare automată folosind calculatorul electronic.

CZ 621.316.5

ÎNTRERUPTOARE DE Î.T.
MODELARE MATEMATICĂ

Călin, Gh., Călin, E., Filimon, C.: **Stabilirea ecuaţiei de mişcare a contactului mobil al întreruptorului de înaltă tensiune acţionat cu mecanism oleopneumatic.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec. 1988, p. 297

Se prezintă metodologia de obţinere a ecuaţiei de mişcare a contactului mobil al întreruptorului de înaltă tensiune acţionat cu mecanism oleopneumatic şi ipotezele simplificatoare adoptate în acest scop. Ca formă, ecuaţia este independentă de caracteristicile constructive ale întreruptorului şi ale circuitului de acţionare, parametrii acestora intervenind, cu valori concrete, numai în expresiile coeficienţilor.

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA 1883

CZ 621.3.025:621.316.923

CURENT ALTERNATIV
SIGURANŢE FUZIBILE
INTEGRALA JOULE

Curcanu, G., Defta, M., Marinescu, M.: **Metode şi dispozitive pentru determinarea integralei Joule la siguranţele fuzibile de înaltă tensiune.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec. 1988, p. 303

În lucrare se prezintă scheme, metode şi dispozitive pentru măsurarea integralei Joule la probele de rupere a siguranţelor fuzibile de înaltă tensiune şi se dau o parte din rezultatele obţinute la încercarea siguranţelor fuzibile.

CZ 621.3.025

TRANSFORMATOR DE CURENT
EROARE COMPUSĂ

Irimia, D., Defta, M.: **Dispozitiv de măsură a erorii compuse la transformatoarele de curent.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec 1988, p. 307

În lucrare se prezintă o metodă directă şi un dispozitiv de măsură a erorii compuse la transformatoarele de curent. Dispozitivul realizat are avantajul utilizării unui număr redus de traductoare de măsură, permiţînd măsurarea erorii compuse cu o precizie ridicată.

CZ 621.312:537.5
ÎNALTĂ TENSIUNE
DESCĂRCĂRI PARŢIALE

Marinescu, A., Georgescu, G., Filişteanu, V.: **Echipament ultrasonic de măsurare a descărcărilor parţiale la transformatoare.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, nr. 8, dec. 1988, p. 309

Se prezintă un echipament de măsură care permite detecţia, localizarea şi transmiterea informaţiei despre nivelul de descărcări parţiale apărut în transformator în timpul funcţionării.

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. ing. C. APETREI ; dr. ing. I. BĂTRÎNA ; dr. ing. V. BUNEA ; prof. dr. ing. V. CĂTUNEANU ; ing. V. CEOCENICĂ ; prof. dr. şt. tehn. ing. V. CORLĂŢEANU ; prof. dr. ing. M. DRĂGĂNESCU ; prof. dr. ing. M. HANGĂNUŢ ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. G. HORTOPAN ; ing. I. ILIESCU ; ing. V. LEFTER ; dr. ing. A. MILLEA ; prof. dr. doc. şt. tehn. ing. C. MOCANU ; prof. dr. ing. A. NICOLAIDE ; ing. A. POPA ; prof. dr. ing. S. PUŞCAŞU ; ing. M. SÎRBU ; dr. ing. VALERIUS STANCIU, redactor resp. adjunct ; dr. ing. FLORIN TEODOR TĂNĂSESCU, redactor responsabil.

Redactor rubrică: GRETA ANDREI
Tehnoredactor: CORNELIA CRISTESCU

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 537-856-519.6

ПЛЕНОЧНЫЙ ЭФФЕКТ В ПРОВОДНИКАХ
ЦИФРОВОЙ МЕТОД С КОНЕЧНЫМИ РАЗНОСТЯМИ

Ставараке, П., Бургина, Е., Пэтруцою, Н.: **Исследование пленочного эффекта в проводниках методом конечных разностей.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988 г., стр. 281

Представляется цифровой метод, основанный на конечных разностях. Применяя магнитный векторный потенциал записываются уравнения Гельмгольца в комплексе и переводятся в конечные разности, предлагая новые методы расчёта для определения граничных условий. Предлагаемый метод проверен в случае стержня квадратного сечения. В конце представляются выводы относительно преимуществ метода и способов применения.

УДК 621.313.12

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР
СИСТЕМА КОМПОУНДИРОВАНИЯ

Енаке, И., Ставараке, П., Корэчь, Е.: **Определение параметров трансформаторов из схем компоундирования синхронных генераторов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988 г., стр. 285

Статья представляет метод определения параметров, которые необходимы для выбора или проектирования трансформаторов компоундирования, для того чтобы при вариации нагрузки, от холостого хода до номинальной нагрузки, безразлично от коэффициента мощности нагрузки, напряжение генератора оставалось постоянным. В дальнейшем анализируется циркуляция токов в разных режимах роботы, а также работа при холостом ходе и при нагрузке синхронного генератора с системой возбуждения компоунд.

УДК 621.337

ВАГОН МЕТРО
ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ
КОНТУР АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Якоб, А., Грэмеску, М., Добре, К.: **Исследование контура автоматического управления вагона метро используя ЭВМ.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988 г., стр. 291

Работа обсуждает установление контура автоматического управления для вагонов метро, приводимые двигателями постоянного тока с независимым возбуждением; контур осуществляет ступенчатое регулирование тока и оборота двигателей. Конечная цель работы — это оптимальная настройка регуляторов и исследование устойчивости системы автоматического регулирования, используя ЭВМ.

УДК 621.316.5

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Кэлин, Г., Кэлин, Е., Филимон, К.: **Установление уравнения движения перемещаюсегося контакта переключателя высокого напряжения приводимого олеопневматическим механизмом.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1978 г., стр. 297

Представляется методология получения уравнения движения перемещающегося контакта переключателя высокого напряжения приводимый олеопневматическим механизмом и упрощенные гипотезы, усвоенные в этой цели. Вид уравнения является независимым от конструктивных характеристик переключателя и от приводной цепи, параметры этих действуя с конкретными значениями только в выражениях коэффициентов.

УДК 621.3.025; 621.316.923

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК
ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ
ИНТЕГРАЛЬ ДЖУЛЯ

Куркану, Г., Дефта, М., Маринеску, М.: **Методы и устройства для определения интеграли Джуля у плавких предохранителей высокого напряжения.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988 г., стр. 303

В работе представляются схемы, методы и устройства для измерения интеграли Джуля на разрывных испытаниях плавких предохранителей высокого напряжения, а также часть результатов, полученных при испытании плавких предохранителей.

УДК 621.3.025

ТРАНСФОРМАТОР ТОКА
СЛОЖНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

Иримия, Д., Дефта., М.: **Устройства для измерения сложной погрешности на трансформаторах тока.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988 г., стр. 307

В работе представляется прямой метод и устройство для измерения сложной погрешности на трансформаторах тока. Осуществленное устройство имеет преимущество применения малого числа датчиков измерения, позволяя измерение сложной погрешности с повышенной точностью.

УДК 621.317:537.5

ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ
ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ

Маринеску, А., Джеорджеску, Г., Филишяну, В.: **Ультразвуковое оборудование для частичных разрядов у трансформаторов.**

Е.Е.А. — **Electrotehnica 36,** декабрь 1988, г., стр. 309

В работе представлено оборудование для ультразвукового детектирования ЧР, проектированное и разваботанное в Лаборатории Высокого Напряжения Электропутере Крайова, достижения которого были проверены при эксплуатации трансформаторов.

Благодаря возможностям оценки эволюции уровня ЧР, выполняется автоматическая проверка состояния изоляции трансформатора во время работы.

INHALT

DK 537—856+519.6

OBERFLÄECHENWIRKUNG IN LEITERN
NUMERISCHES VERFAHREN MIT ENDDIFFERENZEN

Stavarache, P., Burghina, E., Pătruţoiu, N.: **Studium der Oberflächen-Wirkung in Leitern durch die Enddifferenzmethode.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** Nr. 8, Dez 1988, S. 281

Es wird eine numerische Methode, die auf Enddifferenzen basiert, dargestellt. Anhand des magnetischen-Vektor-Potentials werden die Helmholtz-Gleichungen komplex geschrieben und in Enddifferenzen umgestellt. Zugleich werden neue Rechnungsvoraussetzungen zur Bestimmung der Randbedingungen, vorgeschlagen. Die vorgeschlagene Methode

wurde für den Fall des Viereck-Querschnittstabs geprüft. Weiterhin zieht man Schlussfolgerungen über die Vorteile der Methode und Anwendungsmöglichkeiten.

DK 621.313.12

SYNCHRONGENERATOR
KOMPOUNDERREGUNGSSYSTEME

Enache, I., Stavarache, P., Corăci, E.: **Bestimmung der Transformatoren-Parameter aus den Kompound-Schaltungen der Synchrongeneratoren.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 8, Dez 1988, S. 285

Die Arbeit beschreibt eine Methode zur Bestimmung der Parameter für die Wahl oder den Entwurf der Kompound-Transformatoren, damit die Laständerungen — vom Leerlauf bis zur Nennlast — unabhängig vom Leistungsfaktor der Last, die Generatorspannung beibehalten wird. Hierauf analysiert man den Stromkreislauf in verschiedenen Betriebs-Arten, den Betrieb sowohl bei Leerlauf, als auch im Lastzustand des Synchrongenerators mit Kompounderregungssystem.

DK 621.337

VORSTADTISCHES ELEKTRISCHES GESTELL
GLEICHSTROMMOTOREN MIT EINZELNER ERREGUNG
AUTOMATISCHE EINSTELLSCHLEIFE

Iacob, A., Grămescu, M., Dobre, C.: **Untersuchung der automatischen Einstellschleife beim vorstädtischen elektrischem Gestell anhand des Rechners.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 8, Dez 1988, S. 291

Besprochen wird die Bestimmung der automatischen Einstellschleife für elektrische vorstädtische Gestelle angetrieben von Gleichstrom-Motoren mit einzelner Erregung; die Schleife durchführt die Kaskaden-Regelung des Stroms und der Motorendrehzahl. Die Arbeit zielt auf eine optimale Abstimmung der Regler und eine ausführliche Untersuchung der Stabilität des ausomatischen Einstellsystems mittels elektronischen Rechner.

DK 621.316.5

HOCHSPANNUNGSSCHALTER
MATHEMATISCHE NACHBILDUNG

Călin, Gh., Călin, E., Filimon, C.: **Bestimmung der Bewegungsgleichung des mobilen Kontaktes vom mit ölpneumatischem Getriebe angetriebenem Hochspannungsschalter.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 8, Dez 1988, S. 297

Es wird ein Verfahren zum Bestimmen der Bewegungsgleichung des mobilen Kontaktes vom mit ölpneumatischem Getriebe angetriebenem Hochspannungs Schalter sowie die vereinfachbaren Voraussetzungen, die zu diesem Zweck angenommen wurden, dargestellt. Was die Form betrifft, ist die Gleichung unabhängig von den Aufbaucharakteristiken des Schalters und des Antriebkreises, so dass deren Parameter mit konkreten Werten nur in Beiwertausdrücken, vorkomen.

DK 621.3.025:621.316.923

WECHSELSTROM
SCHMELZSICHERUNGEN
JOULE-INTEGRAL

Curcanu, G., Defta, M., Marinescu, M.: **Verfahren und Vorrichtungen zum Bestimmen des Joule-Integrals an Hochspannungsschmelzsicherungen.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 8, Dez 1988, S. 303

Die Arbeit beschreibt Schemas, Methoden und Vorrichtungen zum Messen des Joule-Integrals beim Ausschalten der Hochspannungsschmelzsicherung und es werden Ergebnisse, die beim Versuch der Schmelzsicherungen erzielt **wurden**, angegeben.

DK 621.3.025

STROMWANDLER
GEMISCHTER FEHLER

Irimia, D., Defta, M.: **Messvorrichtung des gemischten Fehlers an Stromwandlern.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, Nr. 8, Dez 1988, S. 307

Es wird eine direkte Methode und eine Messvorrichtung des gemischten Fehlers an Stromwandlern, dargestellt. Der Vorteil der Vorrichtung besteht in der Anwendung einer verminderten Anzahl von Messfühlern sowie im Messen des gemischten Fehlers mit hoher Genauigkeit.

DK 621.317:537.5

HOCHSPANNUNG
TEILENTLADUNGEN

Marinescu, A., Georgescu, G., Filişeanu, V.: **Ultraschallmessausrüstung für messung der teil entladungen der wandler.**

E.E.A. — **Electrotehnica, 36**, Nr. 8, Dez. 1988, S. 309

Die Arbeit stellt die Ultraschalldetektorausrüstung der DP, die in Rahmen des Hochspannungslaboratorium Electroputere Craiova geplant und durchgeführt ist, vor. Die Höchstleistungen sind in Wandlerbetrieb geprüft.

Durch die Schätzungsmöglichkeiten der DP Niveauentwicklung verwirklicht man eine selbstständige Kontrolle des Wandlerisolationzustandes während des Betriebs.

CONTENTS

DC 856.519.6

SKIN EFFECT IN CONDUCTORS
FINITE DIFFERENCE NUMERICAL ANALYSIS

Stavarache, P., Burghina, E., Pătruţoiu, N.: **Study of Skin Effect in Conductor Using Finite Difference Method.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, no. 8, Dec 1988, p. 281

A finite — difference numerical method is presented. Using the magnetic-vector potential the complex Helmholtz equations are written and then transposed into finite differences. Thus novel computational hypotheses for the determination of boundary conditions are suggested. This method is proved for the square section conductor. The conclusions regarding the advantages of the method and the applications are also given.

DC 621.313.12

SYNCHRONOUS GENERATOR
COMPOUNDING SYSTEM

Enache, I., Stavarache, P., Corăci, E.: **Parameter Evaluation for Transformers in Compounding Diagrams of Synchronous Generators.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec 1986, p. 285

The paper introduces an evaluation method for the parameters to be enforced when selecting or designing compounding transformers so that, with load variations from no-load to rated load, regardless of the power factor of the generator load should be constant. Then the flows of current under various operating conditions and both no-load and load operation of the synchronous generator with a compound excitation system are analyzed.

DC 621.337

SUBURBAN ELECTRICAL FRAME
D.C. MOTORS WITH SEPARATE EXCITATION
AUTOMATIC CONTROL LOOP

Iacob, A., Grămescu, M., Dobre, C.: **A Study of the Automatic Control Loop for the Suburban Electrical Frame Using the Computer.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec 1988, p. 291

The paper discusses the determination of an automatic control loop for suburban electrical frames driven by d.c. motors with separate excitation; the loop performs the cascaded control of the motor current and speed. The aim of the paper is to give an optimal adjustment of regulators and study the stability of the automatic control system using the electronic computer.

DC 621.316.5

H. V. SWITCH
MATHEMATIC MODELLING

Călin, Gh., Călin, E., Filimon, C.: **Determination of the Motion Equation for the Moving Contact of the H. V. Switch Driven by an Air-oil Mechanism.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec. 1988, p. 297

The methodology of obtaining a motion equation of the moving contact in the h.v. switch driven by an air-oil mechanism and the simplifying hypotheses adopted for this purpose are presented. In its form, the equation is independent from the constructional features of the switch and driving circuit, their parameters having actual values in the coefficient expressions only.

DC 621.3:025.621.316.923

ALTERNATING CURRENT
FUSES
JOULE INTEGRAL

Curcanu, G., Defta, M., Marinescu, M.: **Methods and Devices for the Evaluation of the Joule Integral in H. V. Fusibles.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec 1988, p. 303

The paper presents diagrams, methods and devices for the measurement of the Joule integral in the breaking tests of h.v. — fusibles and some of the results obtained when testing fusibles.

DC 621.3.025

CURRENT TRANSFORMER
COMPOUNDED ERROR

Irimia, D., Defta, M.: **Measuring Device for the Cumulated Error in the Power Transformers.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec 1988, p. 307

The paper introduces a direct method and a measuring device for the cumulated error in the power transformers. The device has the advantage of using a reduced number of measuring transducers, allowing for the measurement of the cumulated error with a higher accuracy.

DC 621.317:537.5

HIGH VOLTAGE
PARTIAL DISCHARGES

Marinescu, A., Georgescu, G., Filişeanu, V.: **U trasonic equipment for partial discharge measurement in transformers.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** no. 8, Dec 1988, p. 309

There is presented in this paper the PD ultrasonic detecting equipment designed and manufactured at the High Voltage Laboratory Electroputere in Craiova, performances of which have been checked during transformer operation.

By means of the PD level estimating possibilities it is performed an automatic control of transformer insulation state during their operation.

SOMMAIRE

CD 537—856+519.6

EFFET PELLICULAIRE DANS LES CONDUCTEURS
METHODE NUMERIQUE A DIFFERENCES FINIES

Stavarache, P., Burghina, E., Pătruţoiu, N.: **L'étude de l'effet pelliculaire dans les conducteurs par la méthode des différences finies.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36,** N° 8, déc 1988, p. 281

On présente une méthode numérique basée sur les différences finies. En utilisant le potentiel magnétique-vecteur on écrit les équations Helmholtz en complexe et on les transpose dans des différences finies, tout en proposant de nouvelles hypothèses de calcul pour la détermination des conditions de frontière. La méthode proposée est vérifiée dans le cas de la barre à section carrée. Pour finir on présente les conclusions concernant les avantages de la méthode et des modalités d'application.

CD 621.313.12

GÉNÉRATEUR SYNCHRONE
SYSTÈME DE COMPOUNDAGE

Enache, I., Stavarache, P., Corăci, E.: **La détermination des paramètres des transformateurs dans les schémas de compoundage des générateurs synchrones.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N° 8, déc. 1988, p. 285

L'ouvrage présente une méthode pour la détermination des paramètres qui doivent s'imposer dans la sélection ou dans la conception des transformateurs de compoundage, de sorte que la tension du générateur reste constante à des variations de la charge, en partant du fonctionnement à vide et jusqu'au fonctionnement en charge nominale, sans avoir a tenir compte du facteur de puissance de la charge. On fait ensuite l'analyse de la circulation des courants dans de différents régimes de fonctionnement, ainsi que le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge du générateur synchrone a système d'excitation compound.

CD 621.337

RAME ÉLECTRIQUE SUBURBAINE
MOTEURS DE C.C. A EXCITATION SEPARÉE
BOUCLE DE REGLAGE AUTOMATIQUE

Iacob, A., Grămescu, M., Dobre, C.: **Etude de la boucle de réglage automatique pour la rame électrique suburbaine à l'aide l'ordinateur.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N° 8, déc 1988, p. 291

L'ouvrage traite de la conception de la boucle de réglage automatique pour les rames électriques suburbaines, entraînées par des moteurs de courant continu à excitation séparée; la boucle réalise le réglage en cascade du courant et de la vitesse de rotation des moteurs. Le but final de l'ouvrage est le réglage optimal des régulateurs et l'étude de la stabilité du système de réglage automatique à l'aide de l'ordinateur électronique.

CD 621.316.5

INTERRUPTEURS DE H.T.
MODELISATION MATHÉMATIQUE

Călin, Gh., Călin, E., Filimon, C.: **L'établissement de l'équation de mouvement du contact mobile de l'interrupteur de haute tension entraîné par un mécanisme oléopneumatique.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N°. 8, déc 1988, p. 297

On présente la méthodologie pour obtenir l'équation de mouvement du contact mobile de l'interrupteur de haute tension entraîné par un mécanisme oléopneumatique, ainsi que les hypothèses de simplification choisies dans ce but. Du point de vue forme, l'équation est indépendante par rapport aux caractéristiques de construction de l'interrupteur et du circuit d'entraînement, dont les paramètres interviennent avec des valeurs concrètes uniquement dans les expressions des coefficients.

CD 621.3.025:621.316.923

COURANT ALTERNATIF
FUSIBLES
INTEGRALE DE JOULE

Curcanu, G., Defta, M., Marinescu, M.: **Méthodes et dispositifs pour la détermination de l'intégrale de Joule dans le cas des fusibles à haute tension.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N°. 8, déc 1988, p. 303

Dans l'ouvrage on présente des schémas, des méthodes et des dispositifs pour la mesure de l'intégrale de Joule dans les épreuves de coupure des fusibles de haute tension et on fournit en partie les résultats obtenus pendant l'essai des fusible.

CD 621.3.025

TRANSFORMATEUR DE COURANT
ERREUR COMPOSÉE

Irimia, D., Defta, M.: **Dispositif de mesure pour l'erreur composée des transformateurs de courant.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N° 8, déc 1988, p. 307

Dans l'ouvrage on présente une méthode directe et un dispositif de mesure pour l'erreur composée des transformateurs de courant. Le dispositif réalisé a comme avantage l'utilisation d'un nombre réduit de traducteurs de mesure, tout en rendant possible la mesure de l'erreur composée avec une haute précision.

CD 621.317:537.5

HAUTE TENSION
DECHARGES PARTELLES

Marinescu, A., Georgescu, G., Filişeanu, V.: **Equipement ultrasonique de mesurage des decharges partielles aux transformateurs.**

E.E.A. — **Electrotehnica 36**, N° 8, déc. 1988, p. 309

Dans l'ouvrage on présente l'équipement de detection ultrasonore de DP projeté et executé dans le Laboratoire de Haute Tension Electroputere Craiova, dont les performances ont été verifiées dans l'exploitation des transformateurs.

Par les possibilités d'éstimation de l'évolution du niveau de DP on réalise un contrôle automatique de l'état de l'isolation des transformateur pendant le fonctionnement.

Revista „ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA“ (E.E.A.), organ al Ministerului Industriei Electrotehnice, apare în cadrul Institutului de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică (I.C.P.E.) Bucureşti. Articolele propuse spre publicare şi cererile de abonamente se vor trimite la redacţia revistei, Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, telefon 50.40.90, int. 475 şi 695, plata abonamentelor făcîndu-se prin mandat poştal pe adresa : I.C.P.E., Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, Bucureşti, cont virament nr. 301700301 BNRSR, filiala sector 5. Costul unui abonament anual pentru unităţi industriale şi instituţii, ca şi pentru persoane particulare este de 120 lei ; nu se fac decît abonamente integrale. Costul unui exemplar — 10 lei

Cititorii din străinătate care doresc să se aboneze la revista E.E.A. — ELECTROTEHNICA, ELECTRONICA şi AUTOMATICA se pot adresa Întreprinderii „ILEXIM“ — departamentul export — import presă — Bucureşti — Calea Griviţei nr. 64—66. P.O.B. — 2001 — Telex 01.12.26

Tiparul :
Întreprinderea Poligrafică „Informaţia“
Bucureşti, str. Brezoianu nr. 23—25, cd. 2671

ELECTROTEHNICA,
ELECTRONICA ŞI AUTOMATICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE

Electrotehnica nr. 8

CZ 537.856+519.6

EFECT PELICULAR ÎN CONDUCTOARE
METODE NUMERICE CU DIFERENŢE FINITE

Studiul efectului pelicular în conductoare prin metoda diferenţelor finite

PAUL STAVARACHE *, ELENA BURGHINĂ**, NICOLAE PĂTRUŢOIU * — CRAIOVA

Introducere

Pentru studiul efectului pelicular în conductoare drepte s-a apelat la metode analitice de calcul, bazate pe transformări conforme [1], pe utilizarea sistemelor ortogonale şi complete de funcţii proprii [2] etc.

În lucrare se prezintă o metodă numerică, respectiv metoda diferenţelor finite în studiul efectului pelicular în conductoare drepte, de secţiune oarecare.

1. Punerea problemei

Se consideră un conductor drept, de secţiune S, suficient pentru a produce un cîmp magnetic plan-paralel, de conductivitate σ, permeabilitate magnetică $\mu=\mu_0$, străbătut axial de un curent armonic $i = I\sqrt{2}\sin \omega t$, aflat într-un mediu perfect izolant ($\sigma = 0$) şi cu permeabilitatea magnetică μ_0.

Pentru cîmpul magnetic cvasistaţionar al conductorului, folosind potenţialul magnetic vector $\bar{A}$ şi reprezentarea în complex a vectorilor cîmp, se pot scrie, după [2], relaţiile :

$$\underline{\bar{H}} = \frac{1}{\mu_0} \operatorname{rot} \underline{\bar{A}}, \tag{1}$$

$$\Delta \underline{\bar{A}} = j\omega\mu_0\sigma(\underline{\bar{A}} - \underline{\tilde{\bar{A}}}) - \mu_0 \underline{\bar{J}}_0, \tag{2}$$

pentru $(x, y) \in S$,

$$\Delta \underline{\bar{A}} = 0 \text{ pentru } (x, y) \notin S, \tag{3}$$

unde :

$$\underline{\bar{A}} = k \cdot \underline{A}\,(x, y);\ \underline{\bar{J}} = k\underline{J}(x, y), \tag{4}$$

$$\underline{\tilde{\bar{A}}} = \frac{1}{S}\iint_S \underline{\bar{A}}(x, y)dx \cdot dy, \tag{5}$$

$$J_0 = \frac{I}{S}, \tag{6}$$

$$\underline{\bar{J}} = \underline{\bar{J}}_0 - j\omega\sigma(\underline{\bar{A}} - \underline{\tilde{\bar{A}}}). \tag{7}$$

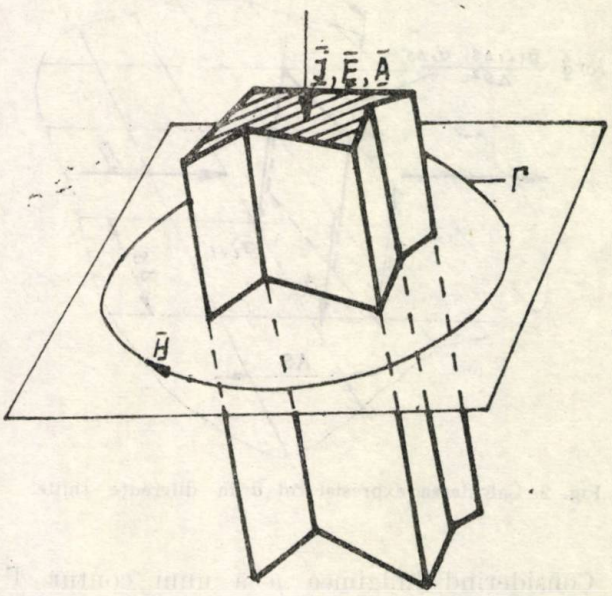


Fig. 1. Dispunerea spaţială a vectorilor—cîmp.

Ştiind că rezistenţa în c.c. a conductorului are expresia $R_0 = \frac{L}{\sigma s}$, (L fiind lungimea conductorului), iar pierderile în c.a. se pot pune sub forma [3] $P = \int_{V\Sigma} \frac{1}{\sigma} \cdot J^2 \cdot dv = RI^2$, unde R este rezistenţa în c.a., se poate stabili

* Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Maşini, Transformatoare şi Aparataj Electric, în cadrul atel. Echipamente Complexe, ** — în cadrul Laboratorului de Calcule şi Modelări.

expresia factorului de majorare a rezistenței în c.a., k_a, folosind relația (7):

$$k_a = \frac{R}{R_0} = \frac{\sigma \cdot S}{I} \cdot \frac{\int_{V\Sigma} \frac{1}{\sigma} \cdot J^2 dv}{I^2} = \frac{S}{LI^2} \int_V J^2 \cdot dv, \tag{8}$$

unde: dv reprezintă elementul de volum.

Pentru a putea scrie relațiile (1), (2), (3), (5) și (7) în diferențe finite, înlocuind totodată potențialul magnetic-vector $\bar{A}$, cu mărimea raportată $\underline{\bar{a}} = \frac{\bar{A}}{I_{\mu 0}}$, și folosind o rețea ortogonală cu pasul ΔS, trebuie să se calculeze întîi expresia rotorului potențialului-vector în diferențe finite, în care scop, pe baza figurii 2, se poate scrie direct:

$$\text{rot } \underline{\bar{a}} = \frac{\underline{\bar{a}}_{i+1} - \underline{\bar{a}}_i}{\Delta S}.$$

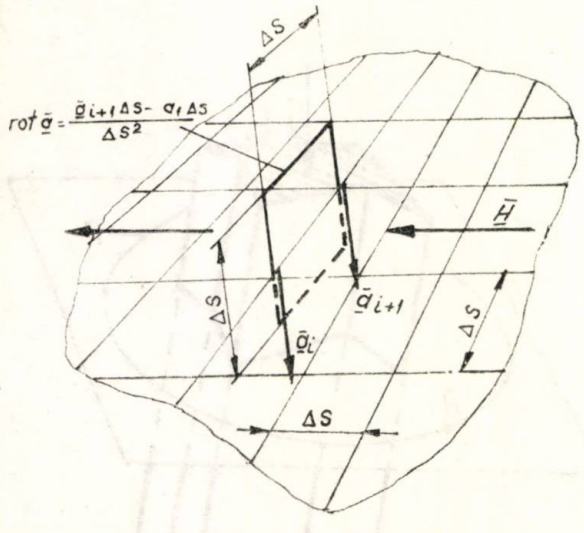


Fig. 2. Calcularea expresiei rot $\underline{\bar{a}}$ în diferențe finite.

Considerînd lungimea p a unui contur Γ ca în figura 1, putem scrie pentru legea circuitului magnetic:

$$H = \frac{I}{p},$$

rezultînd, pentru relația (1): $\frac{\Delta S}{p} = \underline{\bar{a}}_{i+1} - \underline{\bar{a}}_i.$ (1′)

Pentru celelalte relații se obține:

$$\underline{\bar{a}}_{i,j+1} + \underline{\bar{a}}_{i,j-1} + \underline{\bar{a}}_{i+1,j} + \underline{\bar{a}}_{i-1,j} -$$

$$-\underline{\bar{a}}_{ij}(4 + j\omega\sigma\mu\Delta S^2) = -\frac{(\Delta S)^2}{S} - j\omega\sigma\mu\Delta S^2 \tilde{\underline{\bar{a}}}, \tag{2′}$$

$$\underline{\bar{a}}_{i,j+1} + \underline{\bar{a}}_{i,j-1} + \underline{\bar{a}}_{i+1,j} + \underline{\bar{a}}_{i-1,j} - 4\underline{\bar{a}}_{i,j} = 0, \tag{3′}$$

$$\tilde{\underline{\bar{a}}} = \frac{1}{S} \sum_S \underline{\bar{a}}_{ij} \cdot \Delta S^2, \tag{5′}$$

$$\underline{\bar{J}}_{i,j} = \frac{I}{S} - j\omega\sigma\mu I(\underline{\bar{a}}_{i,j} - \tilde{\underline{\bar{a}}}). \tag{7′}$$

Factorul de majorare a rezistenței capătă forma:

$$k_a = S \sum_S \left(\frac{Jn}{I}\right)^2 \Delta S^2. \tag{8′}$$

Se poate scrie: $I = \sum_S J_{i,j} \Delta S^2$. (9)

Dacă se folosește relația (7′), relația (9) capătă forma:

$$1 = \sum_S \left[\frac{\Delta S^2}{S} - j\omega\sigma\mu(\underline{\bar{a}}_{i,j} - \tilde{\underline{\bar{a}}})\Delta S^2\right] =$$

$$= 1 - j\omega\sigma\mu \sum_S (\underline{\bar{a}}_{i,j} - \tilde{\underline{\bar{a}}}) \cdot \Delta S^2,$$

respectiv, $\sum_S (\underline{\bar{a}}_{i,j} \cdot \Delta S^2) = \tilde{\underline{\bar{a}}} \sum_S \Delta S^2 = \tilde{\underline{\bar{a}}} \cdot S,$

adică se regăsește expresia (5′). Acest lucru permite afirmația că relația (5′) exprimă egalitatea dintre suma curenților din ochiurile rețelei corespunzătoare secțiunii conductorului (S), obținuți ca produs dintre densitatea de curent a ochiului respectiv și suprafața ochiului cu curentul ce străbate conductorul și, deci, are un sens fizic bine determinat.

Dacă s-ar stabili condiții de frontieră de tip Neumann, avînd în vedere relația (1′), sistemul folosind ecuații de tipul (2′), (3′) și (5′) ar permite obținerea coeficientului de majorare a rezistenței, respectiv cu ajutorul relației (8′).

2. Stabilirea condițiior de frontieră

Se presupune secțiunea conductorului pătrată, cu latura l și frontiera reprezentată de un contur Γ, de formă pătrată, concentrică

cu conductorul, avînd laturile la distanţa d de laturile secţiunii conductorului (fig. 3).

Situindu-ne în condiţii de frontieră Neumann, se poate alege potenţialul punctelor pe frontieră egal cu zero [4] şi în acest caz relaţia (1′) devine :

$$\bar{a}_1 = -\frac{\Delta S}{P}. \tag{9}$$

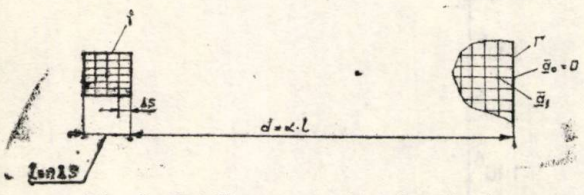


Fig. 3. Stabilirea geometriei frontierei.

În condiţiile prezentate în figura 3, expresia lui $\bar{a}_1$ capătă forma :

$$\bar{a}_1 = \frac{1}{4n(1+2\alpha)}. \tag{10}$$

În domeniul cuprins între contururile Γ şi γ (fig. 3), pornind de la ecuaţia (10) şi aplicînd succesiv ecuaţia Laplace (3′) se obţine, pentru potenţialul magnetic-vector raportat $\bar{a}_\gamma$, de la periferia conductorului :

$$\bar{a}_\gamma = -\frac{1}{4}\frac{\alpha}{1+2\alpha}, \tag{11}$$

pentru care : $\lim\limits_{\alpha\to\infty} \dfrac{\alpha}{1+2\alpha} = 0{,}5.$

Pentru o eroare de 1%, rezultă $\alpha = 49{,}5 \approx$ ≈ 50, respectiv conturul trebuie să se afle la o distanţă egală cu de 50 de ori latura secţiunii conductorului.

După [2], forma optimă a conturului Γ, indiferent de forma secţiunii conductorului este cea pătrată. Se consideră însă că pentru distanţe cu ordinul de multiplicitate stabilit, faţă de dimensiunile conductorului, este mai convenabil, pentru stabilirea reţelei de diferenţe finite, să se adopte un contur Γ asemănător conturului γ al conductorului.

3. Verificarea metodei în cazul barei pătrate

Se ia o bară din aluminiu ($\sigma = 1/2{,}77 \cdot 10^8 \Omega^{-1}m^{-1}, \mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$H/m), străbătută de un curent la frecvenţa de 50 Hz, de secţiune pătrată cu latura $l = 2 \cdot 10^{-2}$ m. Adoptînd o reţea uniformă cu ochiuri $\Delta S = l/8$, o frontieră Γ de formă pătrată la distanţa $d = 50\ l$.

Se consideră liniile echipotenţiale paralele cu conturul Γ, respectiv cu liniile reţelei constituite, şi în acest caz se poate desfăşura domeniul cuprins în conturul Γ ca în figura 4, reducînd suprafaţa cercetată la 1/8 din suprafaţa S a secţiunii conductorului şi numărul necunoscutelor la 6 : $\bar{a}_1$, $\bar{a}_2$, $\bar{a}_3$, $\bar{a}_4$, $\bar{a}_5$, $\bar{a}_6$, $\tilde{\bar{a}}$, în expresie complexă şi corespunzător la 12 numere reale.

Rezultă sistemul în complex :

$$\bar{a}_1 = -\frac{1}{4}\cdot\frac{50}{1+2\cdot 50} \tag{12}$$

$$\bar{a}_1 - \bar{a}_2(2 + j\,8{,}9\cdot 10^{-2}) + \bar{a}_3 + j\tilde{\bar{a}}\cdot 8{,}9\cdot 10^{-2} = -1{,}56\cdot 10^{-2}, \tag{13}$$

$$\bar{a}_2 - \bar{a}_3(2 + j8{,}9\cdot 10^{-2}) + \bar{a}_4 + j\,\tilde{\bar{a}}\cdot 8{,}9\cdot 10^{-2} = -1{,}56\cdot 10^{-2}, \tag{14}$$

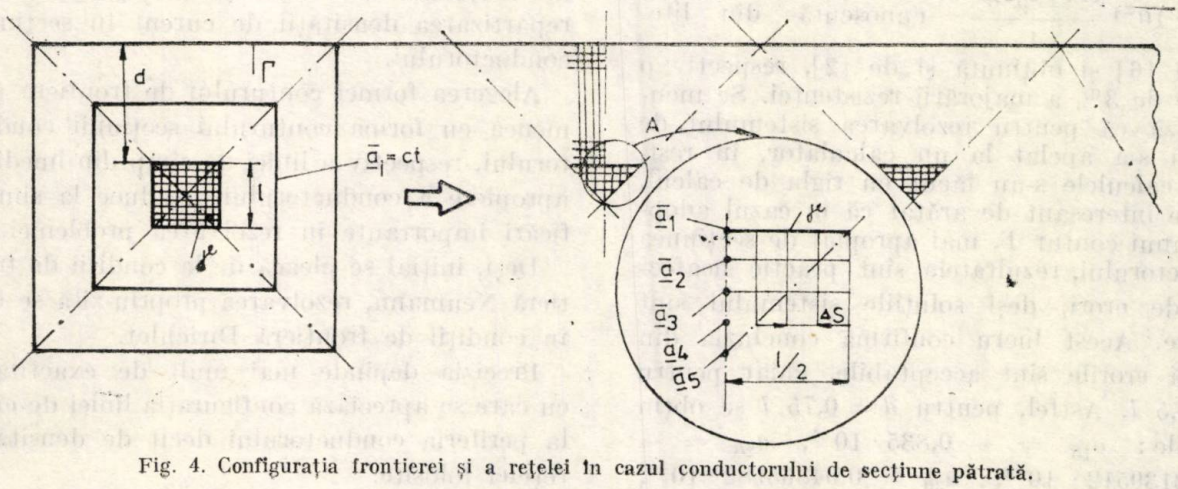


Fig. 4. Configuraţia frontierei şi a reţelei în cazul conductorului de secţiune pătrată.

$$\underline{a}_3 - \underline{a}_4(2 + j\,8{,}9 \cdot 10^{-2}) + \underline{a}_5 +$$

$$+ j\,\underline{\tilde{a}}\,8{,}9 \cdot 10^{-2} = -1{,}56 \cdot 10^{-2}, \quad (15)$$

$$2\underline{a}_4 - \underline{a}_5(2 + j8{,}9 \cdot 10^{-2}) +$$

$$+ j\,\underline{\tilde{a}} \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-2} = -1{,}56 \cdot 10^{-2}, \quad (16)$$

$$0{,}94\underline{a}_1 + 1{,}5\underline{a}_2 + \underline{a}_3 + 0{,}5\underline{a}_4 + 0{,}06\underline{a}_5 + \underline{\tilde{a}} = 0. \quad (17)$$

Introducînd mărimea $\underline{a}_1$ din (12) în (13) și descompunînd numerele complexe ($\underline{a}_n = \underline{a}_{nR} + j\underline{a}_{ni}$), se obține un sistem de 10 ecuații cu 10 necunoscute, care, rezolvat prin schema Gauss [5], conduce la următoarele soluții (inclusiv ecuația 12): $a_{1R} = -1{,}28 \cdot 10^{-1}$, $a_{2R} = -0{,}7589 \cdot 10^{-1}$, $a_{3R} = -0{,}3962 \cdot 10^{-1}$, $a_{4R} = -0{,}18303 \cdot 10^{-1}$, $a_{5R} = -0{,}1127 \cdot 10^{-1}$, $\tilde{a}_R = -0{,}708221 \cdot 10^{-1}$, $a_{1i} = 0$, $a_{2i} = -0{,}096495 \cdot 10^{-1}$, $a_{3i} = -0{,}1975$; $a_{4i} = -0{,}2707 \cdot 10^{-1}$, $a_{5i} = -0{,}2972 \cdot 10^{-1}$ $\tilde{a}_i = -0{,}123862 \cdot 10^{-1}$.

Folosind relația (7') sub forma:

$$\frac{\underline{J}_n}{\underline{I}} = \frac{1}{S} - j\omega\sigma\mu[(a_{ni} - \tilde{a}_i) + j(\tilde{a}_R - a_{nR})],$$

respectiv:

$$\left(\frac{J_n}{I}\right)^2 = \left[\frac{1}{S} + \omega\sigma\mu(\tilde{a}_R - \tilde{a}_{nR})\right]^2 +$$

$$+ [\omega\sigma\mu(a_{ni} - \tilde{a}_i)]^2,$$

Se obține: $(J_1/I)^2 = 7{,}76 \cdot 10^6$, $(J_2/I)^2 = 6{,}4 \cdot 10^6$, $(J_3/I)^2 = 5{,}7 \cdot 10^6$, $(J_4/I)^2 = 5{,}75 \cdot 10^6$, $(J_5/I)^2 = 5{,}77 \cdot 10^6$.

Folosind (8') obținem: $k_a = 1{,}02$ față de valoarea 1,0194 obținută cu relația $k_a = 1 + 24 \cdot 10^{-4} \frac{S^2 \cdot \omega^2\mu^2\sigma^2}{4}$ cunoscută din literatură [6] și obținută și de [2], respectiv o eroare de 3% a majorării rezistenței. Se menționează că pentru rezolvarea sistemului de ecuații s-a apelat la un calculator, în rest, toate calculele s-au făcut cu rigla de calcul.

Este interesant de arătat că în cazul adoptării unui contur Γ, mai apropiat de secțiunea conductorului, rezultatele sînt practic neafectate de erori, deși soluțiile sistemului sînt diferite. Acest lucru confirmă concluzia din [2] că erorile sînt acceptabile, chiar pentru $d = 0{,}5$ l. Astfel, pentru $d = 0{,}75$ l se obțin soluțiile: $a_{1R} = -0{,}835 \cdot 10^{-1}$, $a_{2R} = -0{,}3139512 \cdot 10^{-1}$, $a_{3R} = 0{,}04865982 \cdot 10^{-1}$,

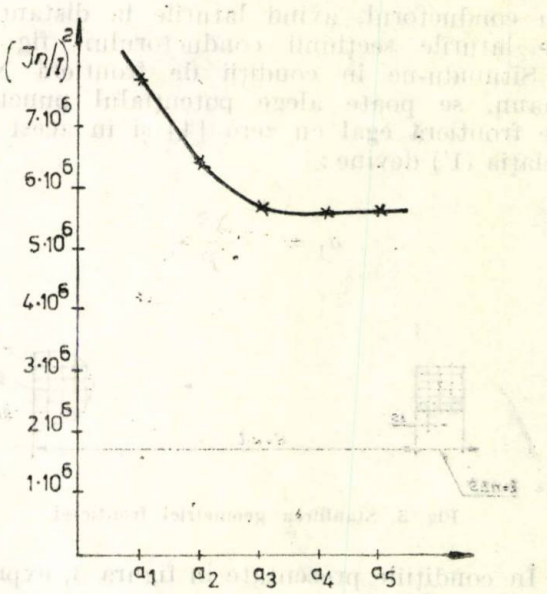


Fig. 5. Distribuția $(J_n/I)^2$ în conductor.

$a_{4R} = 0{,}2618377 \cdot 10^{-1}$, $a_{5R} = 0{,}3321099 \cdot 10^{-1}$, $\tilde{a}_R = -0{,}2641054 \cdot 10^{-1}$, $a_{1i} = 0$, $a_{2i} = -0{,}9674031 \cdot 10^{-1}$, $a_{3i} = -0{,}1979169 \cdot 10^{-1}$, $a_{4i} = -0{,}2712574 \cdot 10^{-1}$ și $\tilde{a}_i = -0{,}1241309 \cdot 10^{-1}$, iar pentru J_n/I se obțin $(J_1/I)^2 = 7{,}63 \cdot 10^6$, $(J_2/I)^2 = 6{,}4 \cdot 10^6$, $(J_3/I)^2 = 5{,}89 \cdot 10^6$, $(J_4/I)^2 = 5{,}76 \cdot 10^6$, $(J_5/I)^2 = 5{,}75 \cdot 10^6$,

astfel ca în final să rezulte $k_a = 1{,}02$.

Rezultatele confirmă totodată alegerea corectă a configurației liniilor echipotențiale.

4. Concluzii

Metoda propusă permite studiul pierderilor suplimentare în conductoare străbătute de curenți armonici prin aplicarea diferențelor finite. Pe lîngă determinarea coeficientului de majorare a rezistenței se poate stabili repartizarea densității de curent în secțiunea conductorului.

Alegerea formei conturului de frontieră asemenea cu forma conturului secțiunii conductorului, respectiv a liniei de cîmp din imediata apropiere a conductorului, conduce la simplificări importante în rezolvarea problemei.

Deși, inițial se pleacă de la condiții de frontieră Neumann, rezolvarea propriu-zisă se face în condiții de frontieră Dirichlet.

Precizia depinde mai mult de exactitatea cu care se apreciază configurația liniei de cîmp la periferia conductorului decît de densitatea rețelei folosite.

Bibliografie

[1] *Rădulef, R., Mocanu, C.* O aproximare a fenomenelor de refulare netă a curentului electric alternativ în conductoare prismatice cu oricîte feţe. În: Studii şi Cercetări de Energetică şi Electrotehnică, **Tomul 14**, Nr. 1, 1964.

[2] *Timotin, A.* O metodă de iteraţie pentru studiul efectului pelicular în bare drepte. În: Studii şi Cercetări de Energetică şi Electrotehnică, **Tomul 15**, Nr. 1, 1965.

[3] *Timotin, A.* ş.a. Lecţii de bazele electrotehnicii, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti 1970.

[4] *Nicolaide, A.* Bazele fizice ale electrotehnicii. Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1983.

[5] *Salvadori, M. G., Baron, M. L.* Metode numerice în tehnică, Editura Tehnică, Bucureşti 1972.

[6] *Arnoul, A. H.* The alternating current resistance of hollow square conductors. În: I.I.E.E., 82, p. 537—545 (1938).

CZ 621.313.12

GENERATOR SINCRON
SISTEM DE COMPUNDAJ

Determinarea parametrilor transformatoarelor din schemele de compundaj ale generatoarelor sincrone

ION ENACHE, PAUL STAVARACHE, ELEODOR CORÂCI * — CRAIOVA

Introducere

Generatoarele sincrone autoexcitate ocupă o pondere importantă în fabricaţia generatoarelor sincrone. Sistemele de alimentare a excitaţiei excitatoarei de curent alternativ, cu redresor, pentru alimentarea excitaţiei generatorului de la un sistem de transformatoare de compundaj, continuă să concureze cu sistemele electronice de alimentare a excitaţiei sau să se utilizeze concomitent cu acestea. Principalele avantaje ale sistemului de compundaj constau în simplitate şi robusteţe.

În cele ce urmează se încearcă prezentarea metodei de determinare a parametrilor ce trebuie impuşi în alegerea sau proiectarea transformatoarelor de compundaj, pentru ca la variaţii alese sarcinii, de la gol la sarcina nominală, indiferent de factorul de putere al sarcinii, tensiunea generatorului să rămînă constantă.

Se vor face referiri la schema de compundare în paralel şi, pentru simplificare, se va neglija existenţa excitatoarei şi a redresorului înseriat între excitatoare şi excitaţia generatorului sincron (GS), respectiv, se va considera că sistemul de compundaj alimentează direct excitaţia *GS* de la gol la sarcină nominală, cînd raportul curenţilor de excitaţie *GS* — excitatoare — rămîne constant.

Metoda a fost şi este aplicată la dimensionarea generatoarelor sincrone din profilul Întreprinderii „Electroputere" — Craiova.

În cele ce urmează se consideră cunoscute toate datele generatorului.

* Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Motoare, Transformatoare şi Aparataj Electric în cadrul Atelierului Echipamente Complexe.

1. Stabilirea schemelor echivalente necesare

1.1. Redresor trifazat cu sarcină rezistivă

Considerînd căderea de tensiune pe două diode înseriate, egală cu 3 V, şi folosind relaţiile cunoscute pentru cazul punţilor trifazate cu 6 pulsuri necomandate [1], cu notaţiile din figura 1 :

$$I_a/I_c = 0{,}82,$$

$$U_d = 1{,}35 \cdot 1{,}35;\ U_f - \Delta U_{red} = 2{,}34;\ U_f - 3,$$

$$U_d = R_e \cdot I_c,$$

se obţine pentru tensiunea de fază :

$$U_f = 0{,}52 R_e \cdot I_a + 1{,}28 = 0{,}427 R_e I_c + 1{,}28 \qquad (1)$$

şi respectiv schema echivalentă din figura 1.

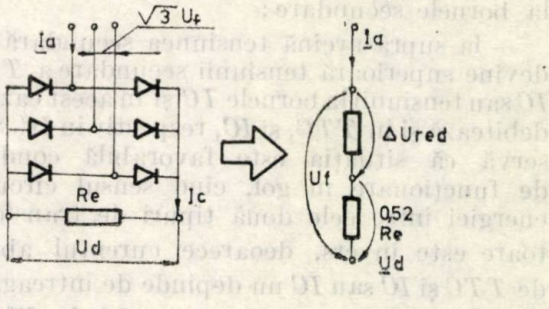


Fig. 1. Schema echivalentă pe fază a redresorului.

1.2. — Transformator de curent pentru compundaj (TCC)

Se definesc două regimuri distincte de funcționare în gol și în sarcină. Regimul de gol corespunde regimului de funcționare în gol a generatorului, cînd curentul din primarul *TCC* este neglijabil (curentul din primarul transformatorului de tensiune pentru compundaj *TTC* sau curentul inductivității de compundaj *IC* corespunzător curentului de excitație în gol al generatorului) și cînd *TCC* este alimentat în secundar din transformatorul *TTC* și *IC* sau inductivitatea *IC*. Regimul de sarcină corespunde funcționării în sarcină a *GS*, cînd curentul din secundarul *TCC*, determinat de curentul de sarcină al *GS*, alimentează, alături de curentul furnizat de *TTC* și *IC* sau *IC*, redresorul de excitație.

Din cele prezentate se desprind următoarele concluzii :

— pentru a dimensiona *TTC* la o putere cît mai apropiată de puterea necesară excitării în gol a *GS* este necesar să se impună transformatorului *TCC* o reactanță de magnetizare $x_{\mu i}$, respectiv o impedanță secundară egală cu 5 — 6 ori rezistența de fază prezentată la bornele de intrare ale redresorului de excitație ;

— la funcționarea în gol a *GS*, *TTC* și/sau *IC* asigură întregul curent de excitație și curentul derivat în secundarul *TCC* ;

— la funcționarea în regim nominal a *GS*, curentul de execitație este asigurat prin însumarea curenților debitați de *TTC* și/sau *TCC*, și nu există curent de circulație între *TTC* și *TCC* și invers, ambele tipuri de transformatoare avînd în acest caz, tensiuni egale la bornele secundare ;

— la suprasarcină tensiunea secundară *TCC* devine superioară tensiunii secundare a *TTC* și *IC* sau tensiunii la bornele *IC* și în acest caz *TTC* debitează și în *TTC*, și *IC*, respectiv în *IC*. Se observă că situația este favorabilă condițiilor de funcționare în gol, cînd sensul circulației energiei între cele două tipuri de transformatoare este invers, deoarece curentul absorbit de *TTC* și *IC* sau *IC* nu depinde de întreaga tensiune secundară a *TCC*, ci numai de diferența tensiunilor secundare ale celor două tipuri de transformatoare și este invers proporțional cu impedanța de magnetizare a *TTC* și *IC* sau *IC* care prezintă valori mari.

TCC la funcționarea în gol

Deoarece, în acest caz, curentul din secundarul transformatorului nu poate influența curentul din primar [2], rezultă că transformatorul se comportă ca o simplă inductivitate cu miez de fier, la bornele secundare apărind o tensiune :

$$\underline{U}_{2i} = \underline{I}_i(\underline{Z}'_{\mu i} + \underline{Z}_{2i}),$$

unde $\underline{Z}_{2i} = R_{2i} + j\,X\,2_{\sigma i}$

Neglijînd pierderile în fier se obține :

$$\underline{U}_{2i} = \underline{I}_i(jX'_{\mu i} + R_{2i} + j\,X_{2\sigma i}),$$

unde : $X'_{\mu i} = \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 \cdot X_{\mu i}$.

TCC la funcționarea în sarcină

În acest caz *TCC* se comportă ca un transformator de curent, respectiv ca o sursă ideală de curent cu impedanță interioară $\underline{Z}_{2i}$, al cărui curent secundar, determinat de curentul practic în fază din primar, sau opoziție de fază cu curentul din primar produce la bornele secundare o tensiune U_{2i}, în funcție de impedanța sarcinii secundare. Reiese, deci, relația :

$$\underline{E}_{2i} = \underline{U}_{2i} + \underline{I}_i\underline{Z}_{2i}$$

și schema echivalentă din figura 4.

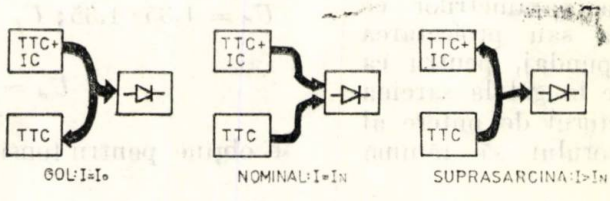


Fig. 2. Circulația curenților în diferite regimuri de funcționare.

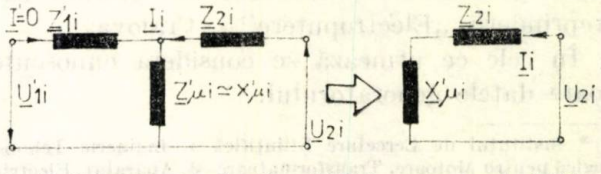


Fig. 3. Schema echivalentă a *TCC* la mersul gol al *GS*.

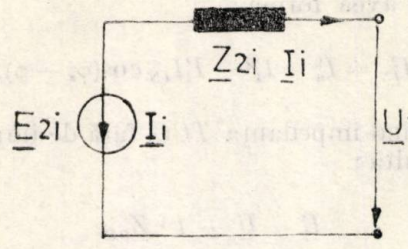


Fig. 4. Schema echivalentă a *TCC* la mersul în sarcină.

1.3. Transformatorul de tensiune TTC și inductivitatea IC

Regimurile de funcționare ale acestor componente în cazul folosirii lor în schema de compundaj, fiind regimuri normale de funcționare pentru un transformator, respectiv inductivitate, se poate adopta schema echivalentă cea mai simplă, respectiv pentru transformator schema Kapp din figura 5, unde :

$$\underline{Z}_t' = R_1\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 + R_2 + j\left[X_{1\sigma t}\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 + X_{2\sigma t}\right],$$

iar pentru *IC*, Z_t se reduce la :

$$\underline{Z}_t = R_t + jX_t.$$

Rezultă o impedanță echivalentă dacă se neglijează rezistențele înfășurărilor *TTC*, în comparație cu rezistența *IC* și se folosește tensiunea de scurtcircuit U_k :

$$\underline{\ }_t = R_t + JX_t,$$

unde :

R_t reprezintă rezistența *IC*,

$$X_t = \begin{cases} X_{tIC} - \text{inductivitatea lui } IC \text{ numai în cazul folosirii } IC \\ X_{tIC} + \dfrac{U_k \cdot U_2}{I_2}, \end{cases} \qquad (2)$$

în cazul folosirii *IC* cu *TTC* (U_2 și I_2 fiind parametrii din secundarul *TTC*)

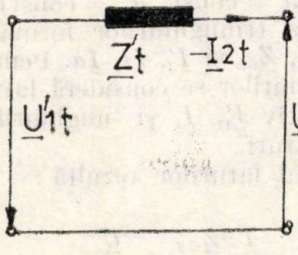


Fig. 5. Schema echivalentă pentru *TTC*.

2. Schema echivalentă a GS cu sistem de excitație compund

Pe baza schemelor echivalente stabilite și a schemei echivalente pe fază a *GS*, se poate constitui schema echivalentă a *GS* cu sistem de excitație compund (*SEC*), din figura 6.

3. Funcționarea în sarcină a *GS* cu *SEC*

Pentru funcționarea în sarcină se obține, din figura 6, schema echivalentă redată în figura 7.

Datorită impedanței de magnetizare a *TCC* cu valoare relativ mare (5 la 6 ori rezistența echivalentă la bornele de intrare ale redresorului), se pot considera fazorii curentului primar și secundar în fază, dacă se consideră începuturile înfășurărilor respective ca în figura 6. Urmărind figura 7 se poate scrie :

$$\underline{I}_a = {}^{I} + \underline{I}_t, \qquad (3)$$

$$\underline{U} = \underline{Z}_t\underline{I}_t + 0{,}52Re\,\underline{I}_a + 1{,}28. \qquad (4)$$

Introducînd mărimea rezultată din (3), în (4) se obține :

$$\underline{I}_t = \frac{\underline{U} - 1{,}28}{\underline{Z}_t + 0{,}52Re} - \frac{0{,}52Re}{\underline{Z}_t + 0{,}52Re}\underline{I}_t. \qquad (5)$$

Dacă se notează $\underline{Z}_e = \underline{Z}_t + 0{,}52\ Re$, (6)

$$\varphi_e = \text{arc tg}\,\frac{X_t}{R_t + 0{,}52\ Re}, \qquad (7)$$

φ_u — defazajul între $\underline{I}_t$ și $\underline{I}$

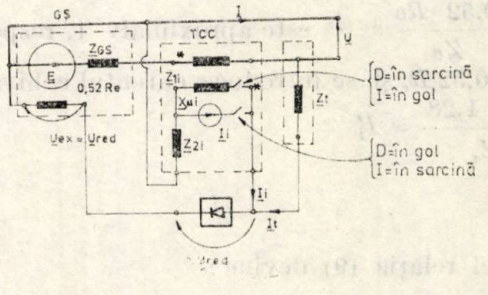


Fig. 6. Schema echivalentă a *GS* cu *SEC*.

și :

φ — defazajul între $\underline{U}$ și $\underline{I}$

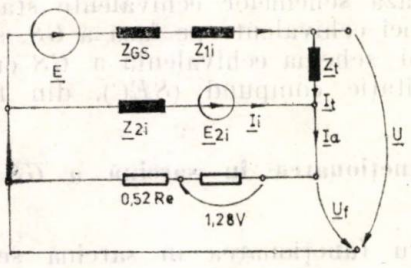


Fig. 7. Schema echivalentă în sarcină în cazul folosirii *IC*.

relația (5) capătă forma :

$$\underline{I}_t e^{-j\varphi_u} = \frac{(U - 1{,}28)e^{j\varphi} - I_i \cdot 0{,}52\, Re}{Z_e \cdot e^{j\varphi_e}}. \quad (8)$$

Diagrama fazorială corespunzătoare relației (8) este redată în figura 8.

Schimbînd fazorul de referință din $\underline{I}_i$, respectiv $\underline{I}$ în $\underline{U}$ relația (7) devine :

$$I_t \cdot e^{-j(\varphi_u+\varphi)} = \frac{(U-1{,}28)e^{-j\varphi_e} - I \cdot 0{,}52 R_e \cdot e^{-j(\varphi_e+\varphi)}}{Ze}.$$

Se introduce mărimea $I_t e^{-j(\varphi_u+\varphi)}$ astfel obținută în relația (3) scrisă sub forma :

$$I_a e^{-j\varphi_a} = I_t e^{-j\varphi} + I_t e^{-j(\varphi+\varphi_u)}$$

și se obține :

$$I_a e^{-j\varphi_a} = \frac{U - 1{,}28}{Ze} e^{-j\varphi_e} +$$

$$+ I_i \cdot e^{-j\varphi}\left(1 - \frac{0{,}52\, R_e}{Z_e} e^{-j\varphi_e}\right). \quad (9)$$

Dacă se admite după [3] că expresia $1 - \frac{0{,}52\ Re}{Ze} e^{-j\varphi_e}$ este aproximaiv 1, respectiv $Z_e \gg 0{,}52\, R_e$ și se introduce curentul echivalent

$$\frac{U - 1{,}28}{Z_e} = I'_t \quad (10)$$

atunci relația (9) devine :

$$I_a \cdot e^{-j\varphi_a} = I'_t e^{-j\varphi_e} + I_i e^{-j\varphi}.$$

și poate avea forma :

$$I_{IN}^2 = I_a^2 - I_t'^2 - I'_t I_{IN} \cos(\varphi_e - \varphi). \quad (11)$$

Neglijînd impedanța *TCC*, față de impedanța *GS*, rezultă :

$$\underline{E} = \underline{U} + \underline{I} \cdot \underline{Z}_{GS}. \quad (12)$$

Dacă se notează :

$$\varphi_{GS} = \text{arc tg}\ \frac{X_{GS}}{R_{GS}}, \quad (13)$$

folosind relațiile (11) și (12) se poate construi diagrama fazorială din figura 9.

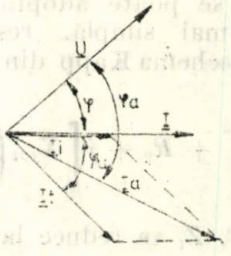


Fig. 8. Diagrama fazorială a curenților în sarcină.

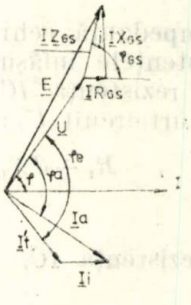


Fig. 9. Diagrama fazorială a funcționării în sarcină.

Comparînd diagramele fazoriale din figurile 8 și 9 se observă că fazorii $\underline{I}'_t$ și $\underline{I}_t$ sînt coliniari și egali, respectiv $\varphi_e = \varphi + \varphi_u$ concluzii ce se impun ca urmare a ipotezei admise de [3].

Condiția impusă compundajului (U = const, indiferent de sarcină), determină ca I'_t = const (U = const, Zt = const, R_e = const), se reduce la asemănarea triunghiurilor formate din laturile $\underline{E}$, $\underline{U}$, $\underline{Ii}$, $\underline{Z}_{GS}$ și $\underline{I}'_t$, $\underline{Ii}$, $\underline{Ia}$. Pentru asemănarea triunghiurilor se consideră laturile $\underline{U}$, $\underline{I}$, $\underline{Z}_{GS}$ și respectiv $\underline{I}'_t$, $\underline{I}_i$ și unghiurile formate între aceste laturi.

Din raportul laturilor rezultă :

$$\frac{\underline{I} \cdot \underline{Z}_{GS}}{\underline{I}_i} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}'_t},$$

care în cazul regimului nominal devine :

$$\frac{I_N}{I_{tN}} Z_{GS} = \frac{U_N}{I'_t}.$$

Se notează raportul de transformare al *TCC* cu $k_t = \frac{I_{tN}}{I_N}$, se folosesc relaţiile (6), (10) şi astfel relaţia (14) se transformă în :

$$X^2_{GS} + R^2_{GS} = K^2_t[X^2_t + (R_t + 0{,}52Re)^2]. \quad (15)$$

Din egalitatea unghiurilor $\widehat{U_N, Z_{GS} I} = \pi - \varphi_{GS} + \varphi$ şi :

$\widehat{I'_t, I_t} = \pi - \varphi_e + \varphi$ se obţine :

$$\varphi_e = \varphi_{GS}. \quad (16)$$

Relaţia (15) reprezintă condiţia de modul a compundajului, în timp ce relaţia (16) reprezintă condiţia de fază. Din relaţia (16) rezultă :

$$\frac{X_{GS}}{R_{GS}} = \frac{X_t}{R_t + 0{,}9\ Re}, \quad (17)$$

iar din relaţia (15) rezultă $K_t = \text{const}$.

În cazul $I = \text{ct}$. şi φ variabil, E se modifică ca fază şi amplitudine, IZ_{GS} rămîne constant şi se modifică ca fază, $\varphi_e = \text{ct}$, $I_t = \text{ct}$ şi variază ca fază, $I'_t = \text{ct}$, I_a variază ca fază ($\varphi_a = \text{ct}$) şi amplitudine, iar în cazul $\varphi = \text{ct}$ şi I variabil, IZ_{GS} îşi păstrează faza, dar variază ca mărime ; E îşi modifică faza şi mărimea $\varphi_e \neq \text{const}$, I_t se modifică ca mărime şi îşi păstrează faza, $I'_t = \text{ct}$, I_a variază ca fază ($\varphi_a \neq \text{const}$) şi amplitudine.

În cazul folosirii unui *TTC*, înseriat cu *IC*, schema din figura 7 rămîne valabilă cu observaţia că expresia lui Z_t corespunde consideraţiilor din *2.3.*

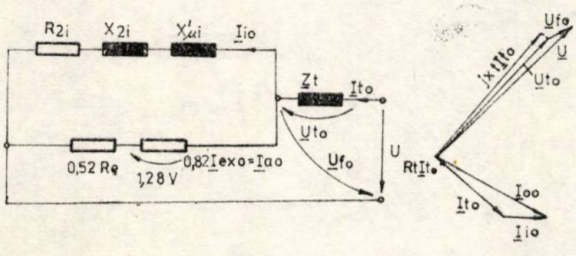


Fig. 10. Schema echivalentă în sarcină, în cazul folosirii *TTC*.

Transformatorul este astfel realizat şi conectat, ca tensiunea $U2$ să fie în fază cu tensiunea primară U.

4. Funcţionarea în gol a *GS* cu *SEC*

Dacă din schema generală, fig. 6, extragem situaţia corespunzătoare mersului în gol, se obţin schema şi diagrama fazorială din fig. 10.

Schema reproduce situaţia folosirii *IC* (fără transformator), dar poate fi aplicată şi cazului *TTC* (cu *IC*) dacă în loc de U considerăm tensiunea secundară a transformatorului în sarcină, $U2$.

La mersul în gol al *GS* cunoaştem curentul prin excitaţie $I_{a0} = 0{,}82\, I_{exo}$ şi putem cu ajutorul relaţiei (1) să determinăm tensiunea Uf_0.

Conform figurii 10 avem pentru curentul absorbit de secundarul *TCC* :

$$I_{t0} = \frac{U_{f0}}{\sqrt{R^2_{2t} + (X_{2t} + X'_{\mu t})^2}}. \quad (18)$$

Neglijăm în continuare, R_{21} şi X_{21} în comparaţie cu $X'_{\mu t}$ şi putem scrie curentul prin *IC*, respectiv prin secundarul transformatorului *TTC* :

$$I_{t0} = \sqrt{I^2_{a0} + I^2_{t0}}. \quad (19)$$

Conform schemei din fig. 10, impedanţa la bornele circuitului este, dacă neglijăm X_{21} în comparaţie cu $X'_{\mu t}$:

$$\underline{Z}_0 = R_t + \frac{0{,}52R_{2t} + R^2_{2t} + X'^2_{\mu t}}{(0{,}52R_e + R_{2t})^2 + X'^2_{\mu t}}\, 0{,}52\ R_e +$$

$$+ j\left[X_t + \frac{0{,}27\, R^2_e X'_{\mu t}}{(052R_e + R_{2t})^2 + X'^2_{\mu t}}\right]. \quad (20)$$

În cazul variantei numai cu *IC* :

$$I_{t0} = \frac{U}{Z_0}. \quad (21)$$

În cazul variantei cu *TTC* şi cu *IC*

$$I_{t0} = \frac{U_2}{Z_0}, \quad (22)$$

iar raportul de transformare al *TTC*

$$K_T = \frac{W_1}{W_2}. \quad (23)$$

Ţinînd seama de tensiunea de scurtcircuit u_k, exprimată în %, a transformatorului, rezultă :

$$K_T = \frac{U}{U_2(1 + 0{,}01\, u_k)} \cdot \qquad (24)$$

5. Modul de calcul al parametrilor

La GS se cunosc U_N, I_N, E_0, S_{exo}, I_{exN} R_{GS}, X_{GS}, Re, $\cos\varphi$.

Se adoptă raportul :

$$\frac{X_{\mu i}}{0{,}52\, R_e} \geqslant (5 \div 6) \cdot \qquad (25)$$

În cazul inductivităţii trifazate se obţine :

$$\frac{X_t}{R_t} \geqslant 24 \cdot \qquad (26)$$

Din relaţia (1) unde $I_e = I_{exo}$, $U_f = U_{f0}$, se obţine U_{f0}.

Se calculează $I_{t0} = \frac{0{,}82 \cdot I_{ex0}}{5}$, ceea ce corespunde condiţiei din relaţia (25) şi se determină $X'_{\mu i}$ din relaţia (18).

Conform fig. 10 avem $\underline{U} = \underline{I}_{t0} \cdot \underline{Z}_t + \underline{U}_{f0}$, respectiv :

$$U^2 = (I_{t0} \cdot Z_t)^2 + U_{f0}^2, \qquad (27)$$

unde : $I_{t0} \simeq I_{a0} = 0{,}82\, I_{ex0}$ conform relaţiei (19) pentru valoarea I_{t0} stabilită, din care se poate determina $Z_t \simeq X_t$ (vezi relaţia 26).

În funcţie de mărimea lui X_t şi luînd în consideraţie tensiunea nominală a generatorului se adoptă, din considerente economice şi de protecţie a muncii, varianta cu IC sau varianta TTC cu IC (în general pentru tensiunea generatorului peste 500 V şi X_t rezultat mai mare de 500Ω).

Varianta TTC cu IC

Se rezolvă sistemul format din relaţia (20) în care se neglijează $R_{2i} \ll R_e$, relaţia (17), relaţia (22) şi relaţia (27) în care $U = U_2$ şi se obţine : U_2, R_t, X_t şi Z_0.

Cu ajutorul relaţiei (24) se determină raportul de transformare K_t. Pentru tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, folosind relaţia (2) obţinem reactanţa inductivităţii X_{IC}.

Varianta IC

Din relaţia (17) se obţine R_t.

Din relaţia (6) se calculează Z_e, respectiv din relaţia (7) se calculează φ_e şi se poate determina I'_t cu ajutorul relaţiei (10).

Introducînd $I_a = 0{,}82\, I_{exN}$ în relaţia (11), obţinem I_{tN} şi se poate obţine raportul de transformare Ki din relaţia (14).

6. Concluzii

Pe baza parametrilor cunoscuţi ai GS, metoda propusă permite determinarea parametrilor necesari proiectării, respectiv realizării TCC, IC şi TTC :

— pentru TCC : K_t, $X'_{\mu i}$

— pentru IC : R_t, X_t, I_{to} = curentul nominal al inductivităţii

— pentru TTC : K_T, U_2, I_{t0} = curentul nominal din secundarul transformatorului.

Bibliografie

[1] *Kelemen, A.* Acţionări electrice. Editura Didactică şi Pedagogică. Bucureşti 1979.

[2] *Gheorghiu, I.S., Fransua, A.* Maşini electrice. Vol. II Bucureşti, Editura Academiei 1969.

[3] *Ionescu, M., Beştea, I.* Contribuţii la calculul schemei de compundaj derivaţie cu bobină de reactanţă folosită la generatoare sincrone cu autoexcitaţie. În: EEA — Electrotehnica, Nr. 2, 1983.

CZ 621.337

RAMĂ ELECTRICĂ SUBURBANĂ
MOTOARE DE C.C. CU EXCITAȚIE SEPARATĂ
BUCLĂ DE REGLARE AUTOMATĂ

Studierea buclei de reglare automată la rama electrică suburbană folosind calculatorul

ANA IACOB, MIHAELA GRAMESCU, CARMEN DOBRE *CRAIOVA

Introducere

Rama electrică suburbană studiată, vehicul de tracțiune feroviară, este acționată cu motoare de c.c. cu excitație separată.

Rama electrică se compune din două secții, ca unități funcționale independente. Reglarea automată se realizează la nivel de secție. Fiecare secție este acționată de patru grupe de motoare conectate în paralel. În studierea buclei de reglare este suficientă luarea în considerare, ca element automatizat, a unei singure grupe, formată din două motoare înseriate.

Schema de principiu a circuitelor de forță este redată în figura 1.

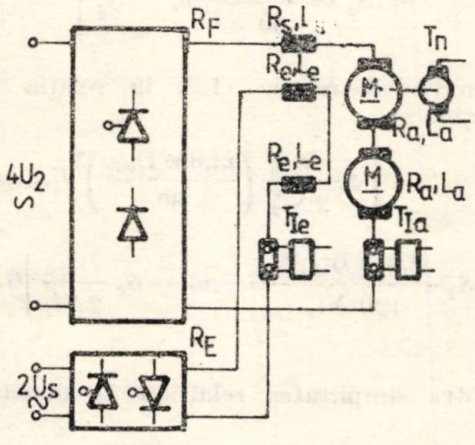


Fig. 1. Schema de principiu a circuitului de forță pentru o grupă de motoare de tracțiune de pe ramă.

1. Stabilirea buclei de reglare automată a ramei

1.1. Schema-bloc a buclei de reglare

Reglarea turației motoarelor de tracțiune, respectiv a vitezei vehiculului, se face astfel:

a — pe caracteristici artificiale de tensiune pînă la valoarea nominală a tensiunii de indus u_a, menținînd constante curentul de indus i_a și fluxul de excitație (reglaj la forță de tracțiune constantă);

b — pe caracteristici artificiale de flux slăbit, reglînd tensiunea de excitație, în condițiile $u_a = U_{aN} =$ constant și i_a descrescînd după o lege impusă.

Reglarea corespunzătoare se realizează într-o buclă de reglare în cascadă a curentului și turației motoarelor de tracțiune, a cărei schemă-bloc este prezentată în figura 2.

Avînd în vedere modul de reglare specificat, se tratează separat buclele de reglare la comanda prin semnal aplicat în circuitul de indus și în circuitul de excitație.

1.2. Funcțiile de transfer ale elementelor buclei

Motorul de tracțiune este elementul neliniar al buclei; neliniaritățile sînt date de caracteristicile neliniare: flux-curent de excitație, inductivitatea selfului de aplatizare — curent de indus, cuplu rezistent — viteză.

S-au determinat pe rînd funcțiile de transfer ale motorului în condițiile reglării de la punctele 1.1a și 1.1b.

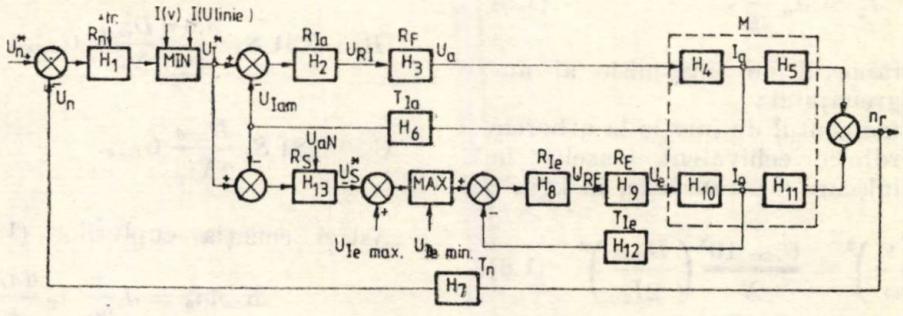


Fig. 2. Schema-bloc a buclei de reglare automată a ramei.

* I.C.S.I.T. — M.T.A.E. — Craiova.

1.2.1. Comanda motorului prin semnal aplicat în circuitul de indus

Funcţiile de transfer ale motorului $H_4(s)$ şi $H_5(s)$ se determină din ecuaţiile funcţionale scrise în regim tranzitoriu :

a — ecuaţia tensiunilor în circuitul de indus :

$$u_a = R_{at} i_a + L_{at} \frac{di_a}{dt} + 2K_e \Phi n, \tag{1.1}$$

unde :

$$R_{at} = 2R_a + R_s ;$$
$$L_{at} = 2L_a + L_s = \text{const},$$

Φ este fluxul util pe pol.

b — ecuaţia cuplurilor :

$$K_m \Phi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + F\omega + m_r, \tag{1.2}$$

cu : K_m — constanta electromecanică a motorului ;

ω — viteza unghiulară la arborele rotoric, în rad/s ;

F — coeficient de frecări vîscoase, în Nms/rad ;

$$F = 9{,}81 \frac{M_f}{\omega_N} = \frac{9{,}81 \cdot 974 \cdot 30 P_{m+v}}{\pi n_N^2}, \tag{1.3}$$

P_{m+v} — pierderile mecanice şi de ventilaţie, în W ;

J — momentul de inerţie total la arborele motorului, kgm² ;

$$J = J_1 + J_2 + J_3, \tag{1.4}$$

J_1 — momentul de inerţie propriu motorului, kgm² ;

J_2 — momentul de inerţie al osiei (J_0) raportat la arborele motorului :

$$J_2 = J_0 \frac{1}{i_T^2}, \tag{1.5}$$

i_T — raportul de transmisie al angrenajului ;

J_3 — momentul de inerţie la arborele rotoric echivalent maselor în mişcare de translaţie, în kgm² ;

$$J_3 = \frac{G_{max}\, 10^3}{N} \left(\frac{v}{\omega} \right)^2 = \frac{G_{max}\, 10^3}{N} \left(\frac{D_{med}}{2I_T} \right)^2 \tag{1.6}$$

G_{max} — masa maximă a secţiei, în t ;

N — numărul motoarelor de tracţiune pe secţie ;

D_{med} — diametrul mediu al roţii, în m ;

m_r — cuplul rezistent la arborele motorului, în N,

$$m_r = 9{,}81 \frac{D_{med}}{2Ni_T} F_r, \tag{1.7}$$

F_r — forţa rezistentă la înaintare, în kgf.

Pentru mersul în aliniament :

$$F_r = r_s G_{max} = (S_1 v^2 + S_2 v + S_3) G_{max}, \tag{1.8}$$

unde : r_s este rezistenţa specifică la înaintare, în kgf/t ;

$S_1 \div S_3$ — coeficienţii specifici ramei pentru determinarea rezistenţei specifice la înaintare ;

v — viteza liniară, în km/h.

Trecînd de la v la turaţia la osia motoare n_r, relaţia (1.8) ia forma :

$$F_r = G_{max} \left[S_1 \left(\frac{3{,}6\, \pi\, D_{med}}{60} \right)^2 n_r^2 + \right.$$
$$\left. + S_2 \frac{3{,}6\, \pi D_{med}}{60} n_r + S_3 \right] \tag{1.9}$$

Introducînd relaţia (1.9) în relaţia (1.7), se obţine :

$$m_r = 9{,}81 \left[S_1 \frac{D_{med}}{2Ni_T} \left(\frac{i 3{,}6\, \pi\, D_{med}}{60} \right)^2 G_{max} n_r^2 + \right.$$
$$\left. + S_2 \frac{3{,}6\, \pi\, D_{med}^2}{120\, Ni_T} G_{max} n_r + S_3 \frac{D_{med}}{2Ni_T} \right] G_{max}. \tag{1.10}$$

Pentru simplitatea relaţiilor se notează :

$$A = 9{,}81\, S_1 \frac{D_{med}}{2Ni_T} \left(\frac{3{,}6\, \pi\, D_{med}}{60} \right)^2 G_{max} ;$$

$$B = 9{,}81\, S_2 \frac{3{,}6\, \pi\, D_{med}^2}{120\, Ni_T} G_{max} ;$$

$$C = 9{,}81\, S_3 \frac{D_{med}}{2Ni_T} G_{max}. \tag{1.11}$$

Astfel ecuaţia cuplurilor (1.2) ia forma :

$$K_m \Phi i_a = J \frac{\pi}{30} i_T \frac{dn_r}{dt} +$$
$$+ \left(F \frac{\pi i_T}{30} + B \right) n_r + A n_r^2 + C. \tag{1.12}$$

Datorită caracterului neliniar al ecuației (1.12), pentru aplicarea transformatei Laplace în ecuațiile (1.1) și (1.12), se trece la variații mici în jurul unui punct staționar de funcționare de forma: $u_a \to U_a + u_a$, $i_a \to I_a + i_a$, $n_r \to n_0 + n_r$ unde u_a, i_a, n_r sînt variațiile mici considerate în jurul valorilor staționare U_a, I_a, n_0. Separînd termenii ce conțin variații mici de cei ce conțin valori staționare și neglijînd termenii ce conțin produse de variații mici, se obțin ecuațiile liniarizate:

$$\begin{cases} u_a = R_{at}\, i_a + L_{at}\dfrac{di_a}{dt} + 2K_e\Phi i_T n_r \\ K_m\Phi i_a = J\dfrac{\pi}{30} i_T \dfrac{dn_r}{dt} + \\ + \left(\dfrac{\pi i_T}{30}F + B + 2An_0\right)n_r. \end{cases} \quad (1.13)$$

Se aplică transformata Laplace sistemului (1.13):

$$\begin{cases} u_a(s) = (R_{at} + L_0 + s)i_a(s) + 2K_e\Phi i_T n_r(s), \\ K_m\Phi i_a(s) = \left(\dfrac{\pi i_T}{30}J_e s + \dfrac{\pi i_T}{30}F + B + 2A_0 n\right)n_r(s), \end{cases} \quad (1.14)$$

de unde se deduc funcțiile de transfer:

$$H_5(s) = \frac{n_r(s)}{i_a(s)} = \frac{K_2}{1 + T_2 s}, \quad (1.15)$$

unde $K_2 = \dfrac{K_m\Phi}{\dfrac{\pi i_T}{30}F + B + 2An_0}$;

$$T_2 = \frac{\dfrac{\pi I_T}{30}J}{\dfrac{\pi i_T}{30}F + B + 2An_0}, \quad (1.16)$$

$$H_4(s) = \frac{i_a(s)}{U_a(s)} = \frac{\dfrac{1}{K_2K_3}(1 + T_2 s)}{1 + \dfrac{(1+T_1 s)(1+T_2 s)}{K_1K_2K_3}},$$

unde $K_1 = \dfrac{1}{R_{at}}$; $T_1 = \dfrac{L_{at}}{R_{at}}$; $K_3 = 2K_e\Phi i_T$.

1.2.2. Comanda motorului prin semnal aplicat în circuitul de excitație

Funcțiile de transfer ale motorului $H_{10}(s)$, $H_{11}(s)$ se determină din ecuațiile funcționale scrise în regim tranzitoriu:

a — ecuația tensiunilor în circuitul de excitație:

$$u_e = R_{et}\, i_e + \frac{d}{dt}(L_{et}\, i_e), \quad (1.17)$$

unde $R_{et} = 2R_e$; $L_{et} = 2L_e$.

Fluxul total al motorului are două componente:

$$L_e i_e = L_{e\sigma} ie + \varphi_{ea} = L_{e\sigma} i_e + 2p\varphi, \quad (1.18)$$

$L_{e\sigma}$ fiind inductivitatea de dispersie neafectată de starea de saturație a circuitului magnetic al mașinii;
φ_{ea} — fluxul util,
p — numărul de perechi de poli ai motorului,
φ — fluxul magnetic util pe pol.

Relația (1.17) ia forma:

$$u_e = 2R_e i_e + 2L_{e\sigma}\frac{di_e}{dt} + 2 \cdot 2p\frac{d\varphi}{dt}; \quad (1.19)$$

b — ecuația tensiunilor în circuitul de indus:

$$u_a = R_{at} i_a + \frac{d}{dt}[(2L_a + L_s)i_a] + 2K_e\varphi i_T n_r; \quad (1.20)$$

c — ecuația cuplurilor:

$$K_m\varphi i_a = J\frac{d\omega}{dt} + F\omega + m_r. \quad (1.21)$$

Notațiile au semnificația celor din relația (1.2).

Similar cu ecuația cuplurilor la comanda prin semnal aplicat înfășurării indusului, relația (2.12), în care se introduce fluxul variabil, rezultă:

$$K_m\varphi i_a = J\frac{\pi}{30} i_T \frac{dn_r}{dt} + \\ + \left(F + \frac{\pi}{30} i_T + B\right)n_r + An_r^2 + C. \quad (1.22)$$

Avînd în vedere dependențele neliniare $\varphi(i_e)$, $L_s(i_a)$ și $m_r(n_r)$, pentru liniarizarea ecuațiilor (1.19), (1.20) și (1.21), se trece la variații mici

în jurul unui punct staționar de funcționare de forma:

$\varphi \to \varnothing + \varphi$, $n_r \to n_0 + n_r$, $i_a \to I_a + i_a$, $L_s \to$ $\to L_{s0} + L_s$, $u_e \to U_e + u_e$. $i_e \to I_e + i_e$ unde

φ, n_r, i_a, L_s, u_e, i_e sînt variații mici în jurul valorilor staționare corespunzătoare $\varnothing$, n_0, I_a, L_{s0}, U_e, I_e. Se consideră pentru φ și L_s tangentele în punctul staționar:

$$\varphi = \frac{d\varphi}{di_e} i_e; \quad L_s = \frac{dL_s}{di_a} i_a. \tag{1.23}$$

Procedînd ca la punctul 1.2.1., rezultă ecuațiile liniarizate:

$$\begin{cases} u_e = 2R_e i_e + 2L_{e\sigma}\dfrac{di_e}{dt} + 2 \cdot 2p\dfrac{d\varphi}{di_e}\dfrac{di_e}{dt} \\ 0 = R_{at+i_a} + 2L_a\dfrac{di_a}{dt} + L_{s0}\dfrac{di_a}{dt} + \\ + I_a\dfrac{dL_s}{di_a}\dfrac{di_a}{dt} + 2K_e i_T n_0\dfrac{d\varphi}{di_e} i_e + 2K_e\Phi i_T n_r \\ K_m I_a\dfrac{d\varphi}{di_e} i_e + K_m\Phi i_a = J\dfrac{\pi}{30} i_T\dfrac{dn_r}{dt} + \\ + \left(\dfrac{\pi}{30} i_T F + B + 2An_0\right) n_r. \end{cases} \tag{1.24}$$

Notînd inductivitatea corespunzătoare fluxului util total:

$$L_{ea} = 2p\frac{d\varphi}{di_e} \tag{1.25}$$

și aplicînd transformata Laplace în ecuațiile (1.24), rezultă:

$$\begin{cases} u_e(s) = [2R_e + 2(L_{e\sigma} + L_{ea})s]i_e(s) \\ 0 = \left[R_{at} + \left(2L_a + L_{s0} + I_a\dfrac{dL_s}{di_a}\right)s\right] i_a(s) + \\ + 2K_e i_T s n_0\dfrac{d\varphi}{di_e} i_e(s) + 2\ K_e\Phi i_T n_r(s) \\ K_m\Phi i_a(s) = \left(\dfrac{\pi}{30} i_T F + B + 2An_0 + \right. \\ \left. + J\dfrac{\pi}{30} i_T s\right) n_r(s) - K_m I_a\dfrac{d\varphi}{di_e} i_e(s), \end{cases} \tag{1.26}$$

de unde se deduc funcțiile de transfer:

$$H_{10}(s) = \frac{i_e(s)}{u_e(s)} = \frac{K_6}{1 + T_6 s}; \quad H_{11}(s) = \frac{n_r(s)}{i_e(s)} =$$

$$= \frac{\dfrac{K_4}{K_3}(1 + T_5 s)}{1 + \dfrac{(1 + T_2 s)(1 + T_4 s)}{K_1 K_2 K_3}}, \tag{1.27}$$

unde:

$$K_6 = \frac{1}{2R_e}; \quad T_6 = \frac{L_{e\sigma} + L_{ea}}{R_e}; \quad K_4 =$$

$$= \left(\frac{1}{K_1}\frac{I_a}{\Phi} - 2K_e i_T n_0\right)\frac{d\varphi}{di_e}; \quad T_4 =$$

$$= \frac{2L_a + L_{s0} + I_a\dfrac{dL_s}{di_a}}{R_{at}}; \quad T_5 = \frac{I_a T_4}{I_a - 2K_1 K_e\Phi i_T n_0}$$

și K_1, K_2, K_3, T_2 conform relațiilor (1.15) și (1.16).

Funcțiile de transfer pentru redresoarele de forță (R_F) și excitație (R_E) sînt [1, pag. 263 ÷ ÷ 264]:

$$H_3(s) = \beta_a\frac{\dfrac{\sqrt{2}}{\pi}U_2}{1 + T_\mu s} = \frac{K_9}{1 + T_\mu s};$$

$$H_9(s) = \beta_e\frac{\dfrac{2\sqrt{2}}{\pi}U_s}{1 + T_\mu s} = \frac{K_{10}}{1 + T_\mu s}. \tag{1.28}$$

Funcția de transfer a traductorului de turație (T_n) este:

$$H_7(s) = \frac{U_n(s)}{n_r(s)} = K_{11}. \tag{1.29}$$

Funcțiile de transfer ale traductoarelor de curent de indus (T_{Ia}) și de excitație (T_{Ie}) sînt:

$$H_6(s) = \frac{U_{Iam}(s)}{I_a(s)} = K_{10}; \quad H_{12}(s) = \frac{U_{Iem}(s)}{I_e(s)} = K_{12}. \tag{1.30}$$

Funcțiile de transfer: H_1 pentru regulatorul de turație (R_n), H_2 și H_8 pentru regulatoarele de curent de indus (R_{Ia}), respectiv de excitație (R_{Ie}), H_{13} pentru regulatorul de slăbire de

cîmp (R_s) sînt:

$$H_1(s) = \frac{1 + \tau_{2n}s}{T_{2n}s}; \quad H_2(s) = \frac{1 + \tau_{1I}s}{T_{1I}s};$$

$$H_s(s) = \frac{1 + \tau_{2E}s}{T_{2E}s}; \quad H_{13} = K_p. \qquad (1.31)$$

Rezultă buclele de reglare în cascadă a curentului de indus și turației la osia motoare a vehiculului (fig. 3), respectiv a curentului de excitație și turației (fig. 4).

2. Metode de studiu utilizate

Pentru acordarea optimă a regulatoarelor s-a ales criteriul modulului, varianta Kessler.

Regulatoarele $R_{I\alpha}$, R_n și R_{Ie} au rezultat de tip *PI*. Relațiile de acordare [2] sînt:

$$\tau_{1I} = T_1, \qquad \tau_{2n} = T_2, \qquad \tau_{2E} = T_6,$$

$$T_{1I} = 2K_1K_9K_{10}T_\mu; T_{2n} = 2\frac{K_2K_{11}}{K_{10}}2T_\mu; \qquad (2.1)$$

$$T_{2E} = 2K_6K_{10}K_{12}T_\mu.$$

Regulatorul R_s a rezultat de tip *P*. Relația de acordare este [2]:

$$K_p = \frac{K_{12}}{K_1K_2K_4K_{11}} \cdot \frac{T_{2n}}{2(T_4 + 2T_\mu)}. \qquad (2.2)$$

Studierea stabilității se face utilizînd sistemele ecuațiilor de stare ale fiecărei bucle, recurgînd la informațiile date de valorile proprii ale matricei caracteristice. Condiția de stabilitate este situarea valorilor proprii în semiplanul stîng al planului $s(\alpha, j\omega)$ [3].

Algoritmul de bază pentru acordarea regulatoarelor și studierea stabilității sistemului este prezentat în schema — bloc din figura 5.

Deoarece sistemul este neliniar și liniarizarea s-a făcut pe porțiuni mici în jurul punctelor staționare, decizia asupra stabilității sistemului este valabilă numai pe aceste porțiuni. Este necesară studierea stabilității pentru cît mai multe puncte care să acopere întreaga caracteristică de tracțiune a ramei (fig. 6), pentru a concluziona asupra stabilității sistemului pe întreg domeniul de funcționare.

Acordarea regulatorului de indus se face pe bucla interioară din figura 3. Se scriu ecuațiile de stare pe această buclă și se extrage matricea caracteristică (4 × 4). Cu ajutorul programului pe calculator, se determină valorile constantelor τ_{1I}, T_{1I} pentru care bucla este stabilă, luînd puncte din zona *A* a caracteristicii de tracțiune pe treptele de demaraj I — III. Se calculează media aritmetică a acestor valori și se verifică menținerea stabilității sistemului pe toate treptele de demaraj (I — IV).

Cu $R_{I\alpha}$ astfel acordat se face acordarea regulatorului de turație, utilizînd bucla din figura 3. Se scriu ecuațiile de stare, se extrage matricea caracteristică (6 × 6). Valorile opti-

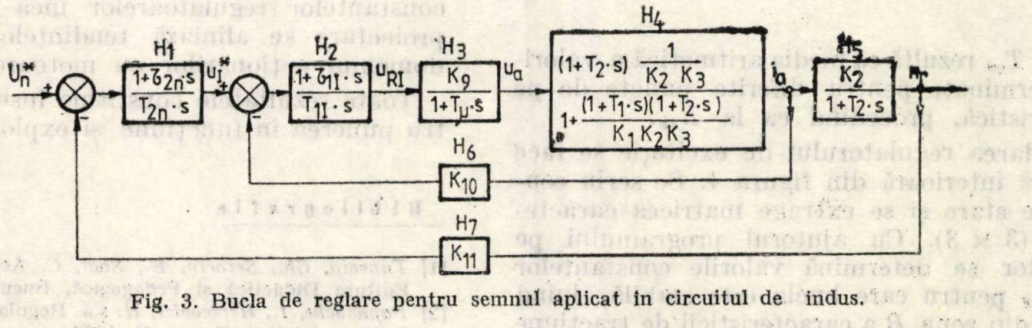


Fig. 3. Bucla de reglare pentru semnul aplicat în circuitul de indus.

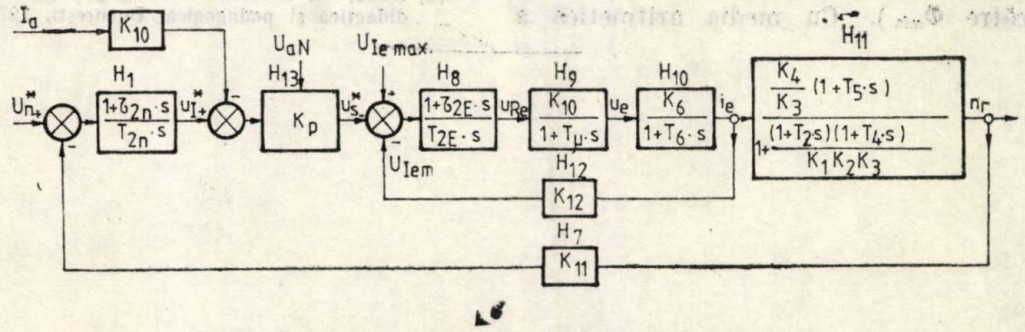


Fig. 4. Bucla de reglare pentru semnal aplicat în circuitul de excitație.

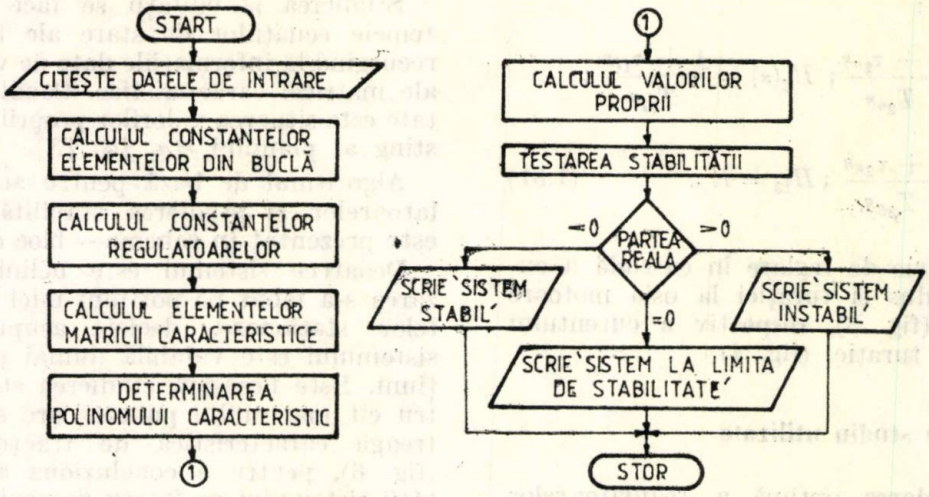


Fig. 5. Algoritm pentru studiul stabilității buclei pe calculator.

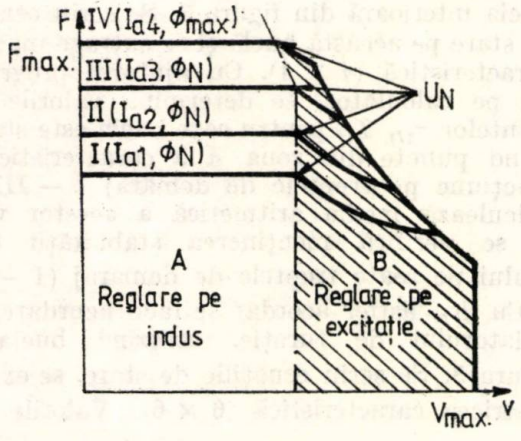


Fig. 6. Caracteristica de tracțiune a ramei.

me τ_{2n}, T_{2n} rezultă ca media aritmetică a valorilor determinate pentru diferite puncte de pe caracteristică, procedînd ca la R_{Ia}.

Acordarea regulatorului de excitație se face pe bucla interioară din figura 4. Se scriu ecuațiile de stare și se extrage matricea caracteristică (3 × 3). Cu ajutorul programului pe calculator se determină valorile constantelor τ_{2E}, T_{2E} pentru care bucla este stabilă, luînd puncte din zona B a caracteristicii de tracțiune apropiate de viteza maximă (valori ale fluxului tinzînd către Φ_{min}). Cu media aritmetică a acestor valori se verifică menținerea stabilității pe toate treptele de demaraj (zona B).

Cu R_n și R_{Ie} acordate, se face acordarea regulatorului de slăbire cîmp utilizînd bucla din figura 4. Se scriu ecuațiile de stare și se extrage matricea caracteristică (6 × 6). Valoarea optimă K_y rezultă ca medie aritmetică a valorilor determinate pentru diferite puncte de pe caracteristică, procedînd ca la R_{Ie}.

3. Concluzii

Luarea în considerare a caracteristicilor neliniare ale motorului și ale celorlalte elemente ale transmisiei electrice, proiectarea asistată de calculator, cunoașterea valorilor optime ale constantelor regulatoarelor încă din faza de proiectare se aliniază tendințelor actuale în domeniul acționărilor cu motoare de c.c.

Toate rezultatele constituie instrucțiuni pentru punerea în funcțiune și exploatarea ramei.

Bibliografie

[1] *Tunsoiu, Gh., Seracin, E., Saal, C.* Acționări electrice. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
[2] *Papadache, I., Herscovici, H.* ș.a. Regulatoare electronice, Editura tehnică, București, 1966.
[3] *Buda, C.*, Elemente de reglaj și automatizare. Editura didactică și pedagogică, București, 1975.

CZ 621.316.5

ÎNTRERUPTOARE DE ÎNALTĂ TENSIUNE
MODELARE MATEMATICĂ

Stabilirea ecuației de mișcare a contactului mobil al întreruptorului de înaltă tensiune acționat cu mecanism oleopneumatic

GHEORGHE CĂLIN, ELVIRA CĂLIN, CECILIA FILIMON* — CRAIOVA

Introducere

În stabilirea parametrilor cinematici ai contactului mobil la întreruptoarele de înaltă tensiune acționate cu mecanism oleopneumatic, un rol important îl are, alături de caracteristicile sistemului de alimentare și refulare, pe închidere sau deschidere, diametrul pistonului de acționare, care poate modifica decisiv regimul de mișcare a contactului mobil.

După cum rezultă din diagrama prezentată în figura 1, obținută analitic și confirmată calitativ experimental, dependența vitezei contactului mobil de diametrul pistonului de acționare este neliniară și prezintă un maxim absolut, determinat de parametrii hidraulici ai circuitelor de alimentare și refulare.

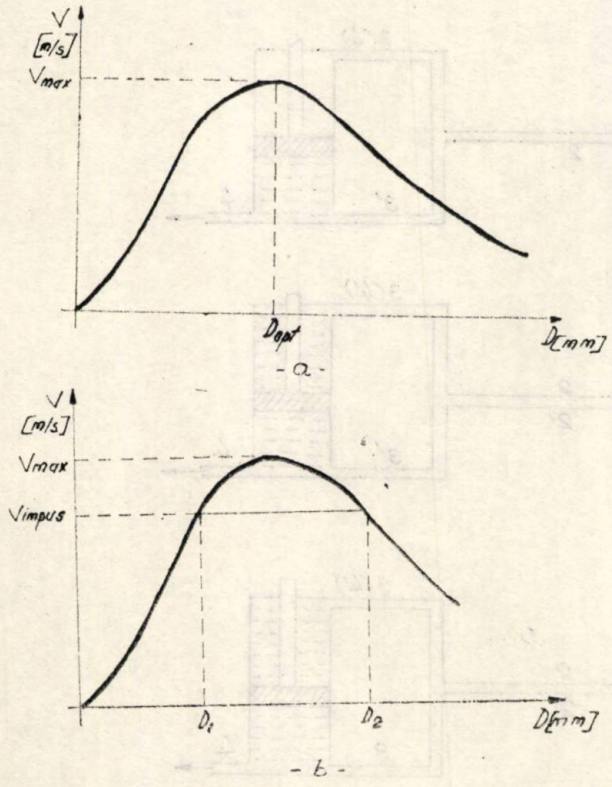


Fig. 1. Variația viteze $V = f(D)$ (a — diagrama nr. 1). Intervalul diametrelor care asigură $V \geq V$ impus (b — diagrama nr. 2).

* I.C.S.I.T. — M.T.A.E. — Craiova.

Existența acestui maxim și a ramurii descendente, în graficul vitezei, explică de ce nu este posibilă totdeauna obținerea parametrilor cinematici impuși, oricît de mult ar crește diametrul pistonului de acționare și justifică, în același timp, încercarea de a determina un interval optim în interiorul căruia toate diametrele asigură satisfacerea condițiilor impuse asupra parametrilor cinematici ai pistonului.

1. Schema de principiu a acționării oleopneumatice a întreruptoarelor de î.t.

În figura 2 a și b se prezintă schema de principiu a acționării oleopneumatice tripolare a întreruptoarelor de înaltă tensiune (un mecanism oleopneumatic acționează trei poli), în două variante constructive:

a) refularea pe deschidere se face într-un rezervor de joasă presiune, circuitul de refulare pe închidere fiind chiar circuitul de alimentare pe deschidere (fig. 2 a);

b) refularea pe deschidere se face într-un rezervor de joasă presiune, circuitul de refulare pe închidere fiind format numai dintr-o mică porțiune a circuitului de alimentare pe deschidere (fig. 2 b).

La acționarea oleopneumatică monopolară schema de principiu este ușor de dedus din cele precedente, prin dispariția conductei comune pe alimentare (la închidere și deschidere) și dispariția distribuitorului, fiecare pol fiind acționat direct de un mecanism oleopneumatic propriu.

Indiferent de sistemul de alimentare adoptat, ansamblul cilindru-piston de acționare a contactului poate fi studiat ca un motor hidraulic rectiliniu, particularitățile circuitelor de alimentare și refulare intervenind numai în stabilirea vitezelor fluidului și a căderilor de presiune de la acumulatorul de înaltă presiune la piston.

2. Ecuația de mișcare a pistonului

Sistemul hidraulic din figura 2 a sau 2 b, acționat cu acumulator de înaltă presiune, folosit ca sursă de energie, poate fi redus, în vederea stabilirii ecuației de mișcare, la modelul

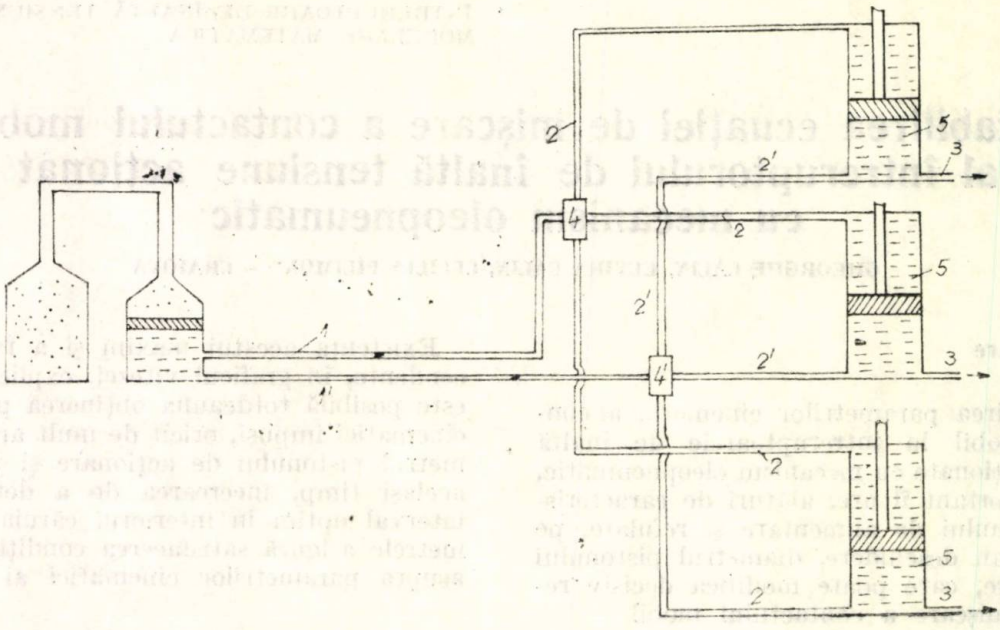


Fig. 2a. Schema circuitului hidraulic, în varianta cu refularea pe închidere fiind chiar circuitul de alimentare pe deschidere:
1 — conducta comună pe alimentare și deschidere; *2* — conducta individuală pe alimentare și deschidere; *3* — conducta de refulare spre rezervor de j.p.; *4* — distribuitor; *5* — cilindrul pistonului; *1'* — conducta comună pe alimentare și închidere; *2'* — conducta individuală pe alimentare și închidere; *4'* — distribuitor.

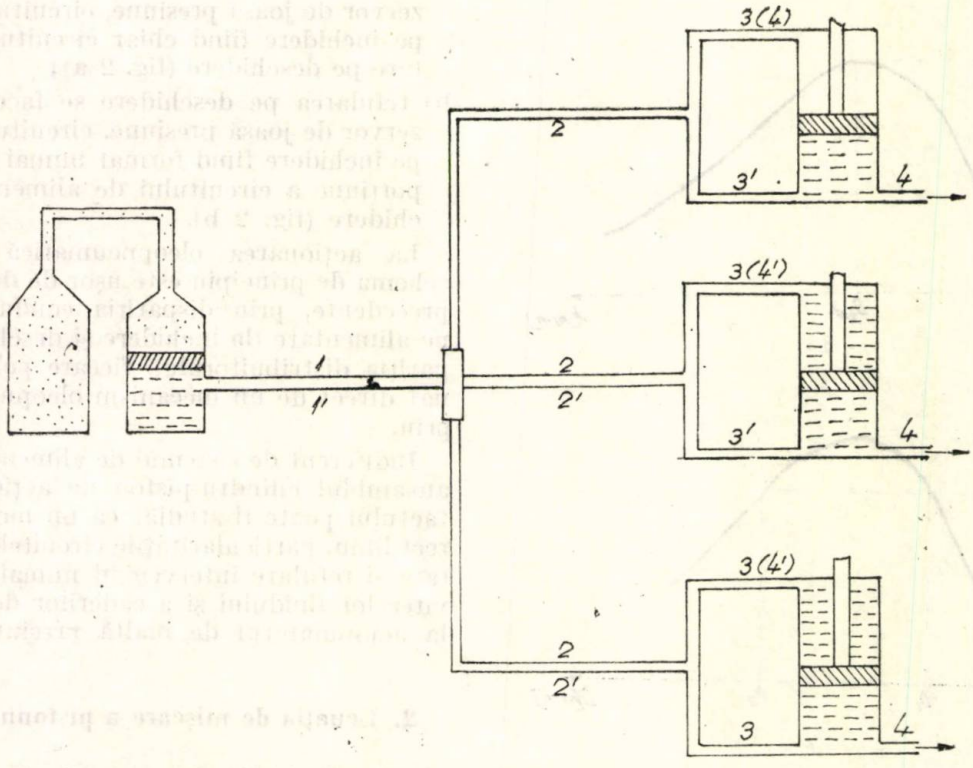


Fig. 2b. Schema circuitului hidraulic în varianta cu refularea pe închidere în circuitul de alimentare: *1* (*1'*) — conducta comună pe alimentare la deschidere și la închidere; *2* (*2'*) — conducta individuală pe alimentare la închidere și la deschidere; *3* — conducta individuală pe deschidere și pe alimentare; *4* — conducta de refulare pe deschidere; *3'* — conducta de alimentare pe închidere; *4'* — conducta de refulare pe închidere.

echivalent din figura 3, ansamblul conductelor de alimentare dintre cilindrul pistonului și acumulator (sursa de energie) influențînd numai valorile coeficienților ecuației, nu și forma ei.

Ținînd seama de faptul că lichidele sînt practic incompresibile și că pistonul (și contactul mobil asociat) are o mișcare de translație (liniară), ecuația de mișcare a pistonului se poate obține pornind de la ecuația generală a mișcării :

$$\sum F_{ap} = \sum F_i + \sum F_{rez},$$

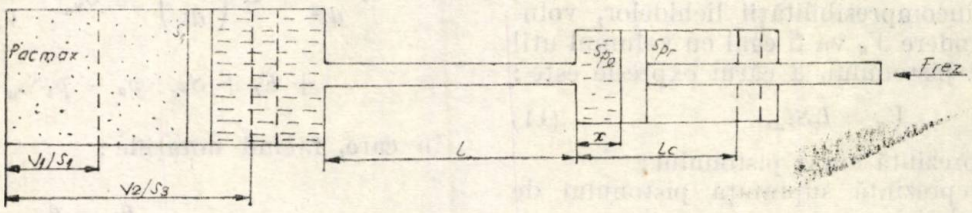


Fig. 3. Schema de principiu a acționării hidraulice cu acumulator pneumatic (model echivalent).

în care : F_{ap} reprezintă forțele active din sistem ;

F_i — forțele de inerție ;

F_{rez} — forțele rezistente.

Forța activă care acționează asupra pistonului este produsă de presiunea ajunsă la piston (pe suprafața de închidere sau deschidere), presiune care provine din presiunea acumulatorului din care se scad pierderile pe conductele sistemului de alimentare :

$$F_{ap} = S_{p_a}(p_{ac} - \Delta p_a), \tag{2}$$

unde : S_{p_a} este secțiunea pistonului, pe închidere sau pe deschidere (pe admisie) ;

p_{ac} — presiunea în acumulator ;

Δp_a — pierderile de presiune pe circuitul de alimentare (admisie).

Forțele de inerție sînt produse, conform definiției, de masele m_i din sistem, aflate în mișcare, cu vitezele v_i. Luînd ca element de referință pistonul, avînd masa m_p și viteza v_p, rezultă succesiv :

$$v_i = \frac{S_p}{S_i} v_p = c_i v_p \tag{3}$$

și :

$$\sum F_i = \sum m_i \frac{dv_i}{dt} = M \frac{dv_p}{dt}, \tag{4}$$

unde : $M = \sum m_i c_i$; (5)

F_i este constantă pentru fiecare element.

Forțele rezistente din sistem au două componente : forțe rezistente de frecare și forțe rezistente datorită circulației fluidului pe sistemul de refulare :

$$F_{rez} = F_f + F_{ref}. \tag{6}$$

Forțele de frecare F_f pot fi considerate constante, proveniența lor nefiind de natură hidraulică, în timp ce forțele rezistente de refulare depind, prin pierderile care le produc, de viteza fluidului prin conductele de refulare :

$$F_{ref} = (p_a + \Delta p_{ref})\, S_{p_r}, \tag{7}$$

în care : p_a reprezintă presiunea rezervorului în care se face refularea ;

Δp_{ref} pierderile de presiune pe circuitul de refulare ;

S_{p_r} secțiunea pistonului pe partea de refulare (deschidere sau închidere).

Pierderile de presiune, pe admisie și pe refulare, se exprimă în curgerea turbulentă, printr-o fracțiune din energia cinetică a masei de fluid în mișcare, fiind, deci, proporționale cu pătratul vitezei :

$$\Delta p = C \cdot V^2 \cdot \gamma, \tag{8}$$

în care : C este o mărime care depinde de geometria sistemului de conducte (lungimi, diametre) și de coeficienții de frecare λ sau rezistențele locale ξ ;

γ reprezintă densitatea fluidului.

Cu aceste precizări, ecuația de mișcare (1) devine :

$$M \frac{dv_p}{dt} + K v_p^2 + F_f = S_{p_a} \cdot p_{ac} - S_{p_r} \cdot p_a, \tag{9}$$

sau :

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + K \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + F_f = S_{p_a} \cdot p_{ac} - S_{p_r} \cdot p_a, \tag{9'}$$

unde : K este o constantă, în raport cu viteza, care ține seama de geometria circuitului hidraulic pe admisie și pe refulare ;

x — coordonata elementului de referință (pistonul), într-un sistem de axe arbitrar sau deplasarea pistonului în cilindru, dacă originea axei este luată la baza cilindrului.

Ecuația (9) sau (9') conține în termenul liber presiunea p_{ac} din acumulatorul de înaltă presiune și p_a din rezervorul de refulare. În mod obișnuit p_a este constant refularea făcîndu-se într-un rezervor de joasă presiune care comunică cu atmosfera înconjurătoare.

În schimb, presiunea p_{ac} din acumulator nu rămîne constantă în timpul deplasării pistonului, gazul din acumulator destinzîndu-se de la presiunea p_1 și volumul V_1 la presiunea p_2 și volumul V_2, volumul de destindere fiind :

$$V_d = V_2 - V_1. \tag{10}$$

Datorită incompresibilității lichidelor, volumul de destindere V_d va fi egal cu volumul util din cilindrul pistonului, a cărui expresie este :

$$V_u = l_c S_{p_a}, \tag{11}$$

unde : l_c reprezintă cursa pistonului ;
S_{p_a} reprezintă suprafața pistonului de admisie.

Prin urmare, volumul V_2 al gazului destins la presiune p_2 (finală) va fi :

$$V_2 = V_1 + V_u = V_1 + S_{p_d} \cdot lc. \tag{12}$$

Presiunea finală p_2 se obține din ecuația gazelor perfecte, scrisă pentru adiabata reversibilă :

$$pV^n = \text{const.} \tag{13}$$

și ecuația lui Bernoulli :

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h = \text{constant}, \tag{14}$$

unde : p este presiunea statică ;

$\frac{v^2}{2g}$ — presiune dinamică ;

h — presiunea geometrică ;
γ — inversul volumului specific ;
n — exponentul politropic al gazului din acumulator

și are expresia :

$$p_2 = \frac{2p_1V_1}{(n-1)V_u}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_1 + V_u}\right)^{n-1}\right] - p_1. \tag{15}$$

Variația presiunii p_{ac} din acumulator, între valoarea inițială și cea finală este neliniară, relațiile (13) și (14), însă, pentru variații procentuale mici se poate aproxima arcul de hiperbolă cu coarda subîntinsă, așa încît se consideră, pentru p_{ac}, o variație liniară de forma :

$$p_{ac} = p_1 + \frac{p_1 - p_2}{x_1 - x_2}(x - x_1), \tag{16}$$

care se mai scrie, alegînd originea axei de referință în x_1 și ținînd seama că rezultă $x_2 = l_c = \frac{V_u}{S_{p_a}}$, sub forma :

$$p_{ac} = p_1 - S_{p_a}\frac{p_1 - p_2}{V_u}x. \tag{16'}$$

În acest fel ecuația (9') va avea expresia finală :

$$M\frac{d^2x}{dt^2} + K\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + S_{p_a}^2\frac{p_1 - p_2}{V_u}x + F_f + S_{p_r} \cdot p_a - p_1S_{p_a} = 0, \tag{17}$$

în care, făcînd notațiile :

$$A = S_{p_a}^2\frac{p_1 - p_2}{V_u}, \tag{18}$$

$$B = F_f + S_{p_r} \cdot p_a - p_1S_{p_a}$$

și substituția : $y = \frac{dx}{dt}$, (19)

se recunoaște o ecuație Bernoulli :

$$My\frac{dy}{dx} + Ky^2 + Ax + B = 0, \tag{20}$$

a cărei soluție, cu condițiile inițiale :

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = \dfrac{dx}{dt} = 0, \end{cases} \tag{21}$$

este :

$$y(x) = \left(\left(\frac{b}{a_2} - \frac{c}{a}\right)(1 - e^{-ax}) - \frac{b}{a}x\right)^{\frac{1}{2}}, \tag{22}$$

în care s-au utilizat notațiile :

$$\begin{cases} a = \dfrac{2K}{M} \\ b = \dfrac{2A}{M} \\ c = \dfrac{2B}{M}. \end{cases} \tag{23}$$

Deoarece $y = \frac{dx}{dt}$ relația (22) reprezintă, de fapt, expresia vitezei elementului de referință

(pistonul) în funcţie de cursă :

$$v_p(x) = \left(\left(\frac{b}{a^2} - \frac{c}{a}\right)(1 - e^{-ax}) - \frac{b}{a}x\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (22')$$

Din (22') rezultă imediat expresia acceleraţiei elementului de referinţă :

$$a_p(x) = \frac{\left(\frac{b}{a} - c\right)e^{-ax} - \frac{b}{a}}{\left[2\left(\frac{b}{a^2} - \frac{a}{c}\right)(1 - e^{-ax}) - \frac{b}{a}x\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (24)$$

Expresia analitică a lui $v(x)$ permite determinarea directă a vitezei în orice moment şi nu este necesar, pentru a verifica încadrarea în limitele impuse, să se calculeze viteza în toate momentele anterioare, cum este necesar să se procedeze la integrarea numerică a ecuaţiei diferenţiale (20).

Din (22') şi (24) se poate obţine, prin integrare numerică, variaţia vitezei şi acceleraţiei în funcţie de timp şi se poate face încă o verificare a atingerii parametrilor cinematici la un moment „t" impus.

3. Calculul coeficienţilor ecuaţiei de mişcare

3.1. Coeficienţii A şi B din ecuaţia de mişcare (20) sînt complet definiţi de relaţiile (18), în care :

— p_1, p_2 reprezintă valoarea iniţială şi finală a gazului în acumulatorul de înaltă presiune. Valoarea finală p_2, corespunzătoare curbei maxime l_c a pistonului, este dată de relaţia (15);

— S_{p_a}, S_{p_r} — secţiunea pistonului pe faţa de admisie, respectiv refulare;

— F_f — suma forţelor de frecare din sistem;

p_a — presiunea în rezervorul de refulare.

Se constată că cei doi coeficienţi nu depind de caracteristicile circuitelor de alimentare şi refulare.

3.2. Coeficientul M (18) are expresia generală dată de relaţia (5).

Ţinînd seama de faptul că între vitezele fluidului prin conducte şi secţiunile conductelor există relaţia :

$$V_1 S_{c1} = V_2 S_{c2} = \text{constant}, \quad (25)$$

relaţia (5), care defineşte coeficientul M, se poate scrie :

$$M = m_0 + D_{p_a}^4 \sum \frac{m_i}{D_{ci}^4}, \quad (26)$$

unde : D_{p_a} reprezintă diametrul pistonului pe admisie;

D_{ci} — diametrul conductei „i";

m_i — masa uleiului din conducta „i";

m_0 — masa pistonului şi a tijei portcontact.

Masa m_i a uleiului dintr-o conductă cilindrică se poate calcula cu relaţia :

$$m_i = l_{ci} \frac{\pi D_{ci}^2}{4} \rho,$$

unde : l_{ci} reprezintă lungimea conductei;

ρ — densitatea masică a fluidului transportat pe conductă.

Deoarece pistonul de acţionare este piston diferenţial ($S_{p_a} \neq S_{p_r}$), relaţia (26) completată cu (27) trebuie explicitată pentru conductele de pe admisie şi refulare :

$$M = m_0 + \frac{\pi \rho D_{pa}^4}{4}\left(\sum \frac{l_{cia}}{D_{cia}^2} + \sum \frac{l_{cir}}{D_{cir}^2} \cdot \frac{D_{pr}^4}{D_{pa}^4}\right). \quad (28)$$

Pentru acţionarea tripolară, în care, conform figurii *1*, viteza fluidului prin conducta comună este de 3 ori mai mare decît viteza prin conductele individuale, relaţia (28) se scrie sub forma :

$$M = m_0 + \frac{\pi \rho D_{pa}^4}{4}\left[\sum \frac{9 l_{cca}}{D_{cca}^2} + \sum \frac{l_{cia}}{D_{cia}^2} + \right.$$

$$\left. + \left(\sum \frac{9 l_{ccr}}{D_{cr}^2} + \frac{l_{cir}}{D_{cir}^2}\right)\frac{D_{pr}^4}{D_{pa}^4}\right],$$

unde : l_{cc}, D_{cc} se referă la conducta comună (pe admisie şi refulare);

l_{ci}, D_{ci} — la conducta individuală.

În ceea ce priveşte masa lichidului din cilindrul pistonului, din cauza suprafeţelor inegale pe admisie şi refulare, ea nu este constantă în timpul mişcării pistonului şi variază liniar între o valoare minimă şi una maximă corespunzătoare poziţiilor extreme ale pistonului în cilindru :

$$m_{\min} = \rho l_c \cdot \frac{\pi D_{pa}^2}{4}, \quad (30)$$

$$m_{\max} = \rho l_c \cdot \frac{\pi D_{pr}^2}{4}.$$

Pentru a nu transforma ecuaţia (20) într-o ecuaţie cu coeficienţi variabili, ceea ce ar face foarte dificilă, dacă nu chiar imposibilă, obţinerea unei soluţii analitice, se preferă ca, în cazul în care nu se poate neglija, să se lucreze cu valoarea maximă a masei, care se însumează direct lui m_0, viteza fluidului din cilindru fiind aceeaşi cu viteza pistonului.

3.3. Calculul coeficientului K

Coeficientul K însumează, pe admisie şi pe refulare, rezistenţele liniare şi locale ale sistemului de conducte, raportate la elementul de referinţă (piston).

Rezistenţa liniară a unei conducte drepte, cu secţiunea constantă se poate calcula cu relaţia :

$$R_{\text{lin}} = \lambda \cdot \frac{1}{2g} \cdot \gamma \frac{D_p^4}{D_c^3} \cdot k, \qquad (31)$$

unde : λ este un coeficient de frecare ; în regim turbulent este funcţie de numărul lui Reynolds şi de coeficientul de rugozitate ε al suprafeţei interioare a conductei ;
l, D — lungimea, respectiv diametrul conductei ;
γ — masa specifică ;
D_p — diametrul pistonului, pe admisie sau pe refulare (D_{p_a} sau D_{p_c}), după cum conducta respectivă face parte din circuitul de alimentare sau refulare ;
k — un coeficient care ia valoarea 1 pentru conductele individuale şi valoarea 9 pentru conductele comune (la acţionarea tripolară).

Rezistenţele locale, cauzate de frecările în curbe, coturi, schimbări de secţiune etc., se pot calcula cu relaţia :

$$R_{loc} = \xi \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{D_p^4}{D^4} \cdot k, \qquad (32)$$

unde : $\gamma, \ldots, k$ au semnificaţiile stabilite anterior ;
ξ reprezintă un coeficient care depinde numai de forma rezistenţei locale, neglijîndu-se dependenţa de vîscozitate, greutate specifică etc.

Din însumarea rezistenţelor liniare şi locale pentru ansamblul conductelor din circuitul de alimentare şi refulare, rezultă coeficientul K :

$$K = \sum R_{lin} + \sum R_{loc}.$$

Coeficienţii λ şi ξ din relaţiile de mai sus se determină din diagrame şi tabele, în funcţie de caracteristicile conductelor circuitului hidraulic.

4. Concluzii

Ecuaţia de mişcare şi soluţia analitică obţinute permit studierea mişcării pistonului (şi a contactului mobil solidar cu acesta) atît în perioada de închidere a contactului, cît şi la deschidere, alegînd în mod corespunzător conductele din circuitul de admisie şi refulare. De asemenea, ecuaţia permite studierea mişcării atît la acţionarea monopolară (caracterizată numai prin conducte individuale, pe admisie şi pe refulare), cît şi la acţionarea tripolară (cu conducte comune şi individuale pe admisie şi refulare).

Ecuaţia a fost obţinută pornind de la principiile generale ale mişcării, singura ipoteză simplificatoare adoptată fiind variaţia liniară a presiunii în acumulator, între valorile iniţială şi finală. De menţionat că, valoarea finală a presiunii este calculată exact, reprezentînd un punct de funcţionare real pe curba destinderii gazului.

Soluţia analitică a ecuaţiei de mişcare permite un studiu calitativ şi cantitativ al influenţei diferiţilor parametri ai circuitului asupra caracteristicilor cinematice rezultante, fiind posibilă o optimizare pe cale teoretică a circuitului hidraulic considerat.

Ecuaţia de mişcare (9) sau (9′) se putea deduce şi din ecuaţia lui Lagrange, pistonul avînd un singur grad de libertate, luînd drept coordonată generalizată poziţia pistonului, iar ca forţă generalizată forţa activă la piston.

Bibliografie

[1] *Cioc, D.* Hidraulică. E.D.P. Bucureşti, 1975.
[2] *Florea, J.* Mecanica fluidelor. E.D.P. Bucureşti, 1979.
[3] *Drăghici, N. N.* ş.a. Conducte pentru transportul fluidelor. E.T. Bucureşti, 1971.
[4] *Angot André.* Complemente de matematici. Traducere din limba franceză. E.T. Bucureşti, 1966.
[5] *Nicolescu, L. J., Stoka, M.* Matematici pentru ingineri. **vol. II.** E.T. Bucureşti, 1971.
[6] *Feynman, R.* Fizică modernă. **vol. II.** E.T. Bucureşti, 1970.
[7] *Hortopan, Gh.* Aparate electrice. E.D.P. Bucureşti, 1980.

CZ 621.3.025:621.316.923

CURENT ALTERNATIV
SIGURANȚE FUZIBILE
INTEGRALA JOULE

Metode și dispozitive pentru determinarea integralei Joule la siguranțele fuzibile de înaltă tensiune

GEORGE CURCANU, MIHAIL DEFTA, MARIAN MARINESCU* — CRAIOVA

Introducere

Determinarea integralei termice Joule este foarte importantă pentru modernizarea și dezvoltarea unor noi tipuri de siguranțe fuzibile. Pentru a asigura o protecție eficientă cu siguranțele fizibile, trebuie ca integrala termică Joule a siguranței să fie mai mică decît integrala termică Joule a elementului de protejat. Integrala Joule se poate determina fie prin metode de calcul analitic, fie prin metode experimentale.

Deoarece metodele de calcul analitic sînt laborioase și implică cunoașterea unor constante de material [1, 2], s-au aplicat metode experimentale prin înregistrarea ei pe un oscilorgaf, prin intermediul unui dispozitiv analogic realizat în laboratorul de mare putere sau pe un înregistrator de formă de undă și semnal cu afișare digitală a valorii prelucrate pe calculator [3, 4, 5, 6].

1. Mărimile măsurate

Caracteristic pentru funcționarea la scurtcircuit a siguranței fuzibile este procesul de limitare a amplitudinii și duratei curentului de scurtcircuit [3] așa cum rezultă din figura 1, în care s-a notat cu :

- i_p — curentul prezumat, definit ca acel curent care ar trece prin circuit dacă siguranța fuzibilă ar fi înlocuită cu un cablu de impedanță neglijabilă ;
- i_{pt} — curentul prezumat tăiat, definit ca valoarea instantanee a curentului prezumat în momentul apariției arcului electric ;
- i_l — curentul limitat, care trece prin siguranța fuzibilă ;
- i_{lt} — curentul limitat tăiat (curentul de trecere) definit ca valoare instantanee maximă a curentului limitat.
- t_{pa} — durata prearc (timpul de topire), adică timpul scurs între momentul inițierii curentului de scurtcircuit și momentul apariției arcului electric ;
- t_a — durata arcului, adică timpul scurs din momentul inițierii arcului pînă în momentul stingerii totale a acestuia.

$t_f = t_{pa} + t_a$ — durata de funcționare, adică durata de prearc plus durata arcului.

Funcționarea la scurtcircuit a siguranței se apreciază pe baza integralei Joule : $J = \int_0^{tf} i^2 dt$, definită pe întreaga durată de funcționare t_f, precum și pe baza integralei Joule pe durata prearc. $\int_0^{tpa} i^2 dt$ și a integralei Joule pe durata arcului $\int_{tpa}^{ta} i^2 dt$, așa cum rezultă din figura 1.

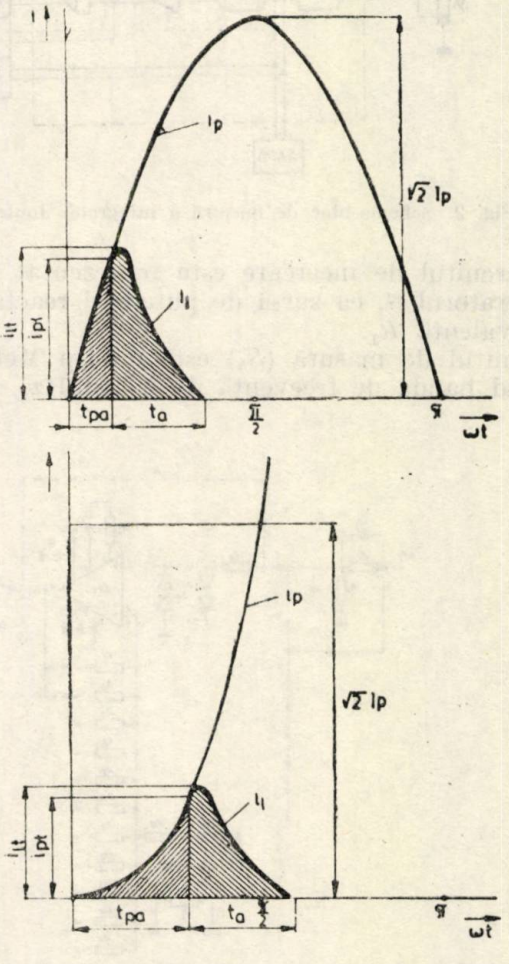


Fig. 1. Curba curentului limitat de siguranța fuzibilă în cazul scurtcircuitului simetric (a) și asimetric (b).

* I.C.S.I.T. — M.T.A.E. Craiova

4. Schema-bloc de măsură a dispozitivelor

În figura 2 se prezintă schema-bloc de măsură a integralei Joule pe care s-au făcut următoarele notații;

G — generator de scurtcircuit de înaltă tensiune;
R_1 — reactanța pentru limitarea curentului de scurtcircuit;
S — siguranța fuzibilă de încercat;
S_h — șuntul de măsură a curentului;
C_b — cablu coaxial;
D — dispozitiv analogic pentru determinarea integralei Joule;
$SAPD$ — sistem de înregistrare și prelucrare a formei de semnal;
O — oscilograf catodic;
CI — circuit de intrare pe curent;
M — multiplicator integrat;
A — amplificator operațional;
IC — circuit integrator.

În continuare se va face o scurtă descriere a fiecărui bloc în parte.

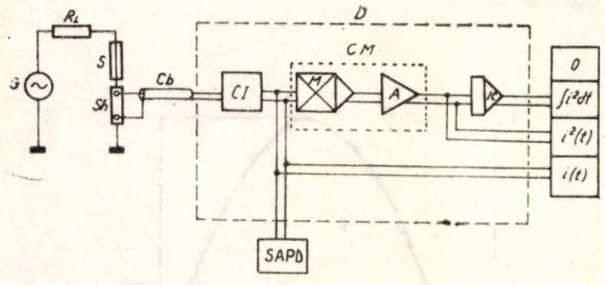


Fig. 2. Schema-bloc de măsură a integralei Joule.

Circuitul de încercare este reprezentat prin generatorul G, ca sursă de putere și reactanța echivalentă R_1.

Șuntul de măsură (S_h) este de tip Mettra, avînd banda de frecvență de 0—10kHz, tensiunea de ieșire de 2 V pentru seria curenților de la 2 kA — 80kA și ieșire coaxială.

Cablul coaxial (C_b) este de tip $PA-16$ și are impedanța caracteristică de 100Ω.

Dispozitivul analogic de măsură, a cărui schemă electrică detaliată este prezentată în figura 3, este format din patru blocuri debroșabile pe un cadru metalic și anume:

— circuitul de intrare (CI);
— circuitul multiplicator (CM) și circuitul de integrare (IC);
— circuitul de comandă;
— circuitul de etalonare și alimentare.

Circuitul de intrare, format pe baza unui circuit integrat (CI_1) de tip ROB—709, asigură protecția la intrarea dispozitivului și realizează multiplicarea semnalului de intrare pe baza treptelor de curent corespunzător șunturilor de: 2V; 1V; 0,5V; 0,02V; 0,1V; 0,05V; 0,02V; 0,01V; 0,005V; 0,002V, adaptînd astfel semnalul la intrarea circuitului multiplicator (CM).

Circuitul multiplicator (CM) este format cu multiplicatorul CI_2 cu transconductanță variabilă tip MC 1594, la care intrările x și y s-au legat împreună pentru a realiza funcția pătratică i^2 (t) prin intermediul amplificatorului operațional CI_3.

Circuitul de integrare (IC) este format pe baza unui circuit integrat CI_1 tip ROB—101 ce permite determinarea integralei Joule $\int i^2(t)dt$.

Caracteristicile tehnico-funcționale ale dispozitivului analogic de măsură (D) sînt următoarele:

— semnalul de intrare are amplitudinea între 2 mV — 2 V cu treptele de reglaj proporțional cu coeficientul: 1 — 2 — 3 — 10;

— banda de frecvență este de 10 kHz pentru treptele de 2 mV — 5 mV și de 100 kHz pentru treptele 10 mV — 2V;

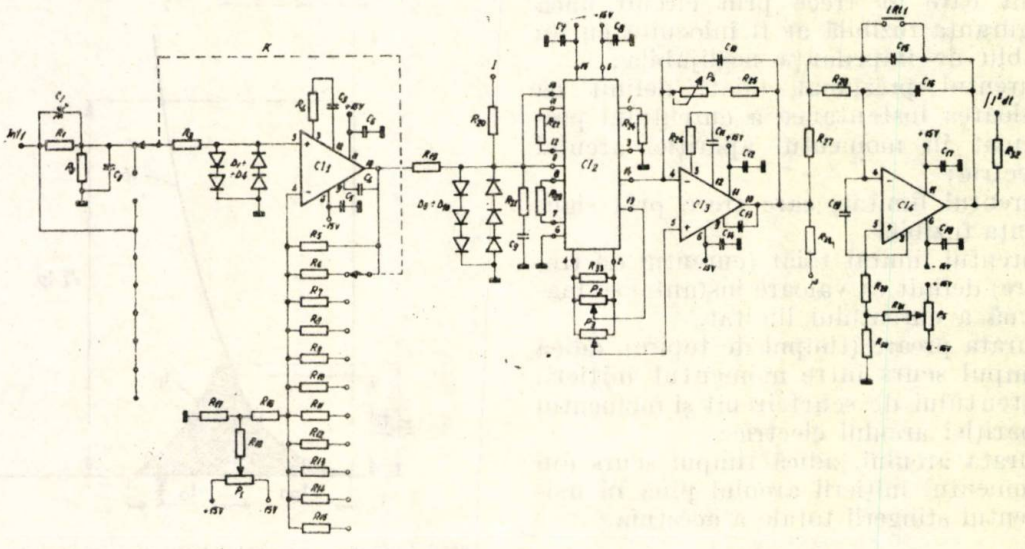


Fig. 3. Schema electrică detaliată a dispozitivului analogic realizat.

— semnalul de ieşire a circuitului de intrare are amplitudinea de 1 V indiferent de nivelul treptei de intrare;

—rezistenţa de intrare este mai mare de 10 kΩ;

— rezistenţa de ieşire a circuitului de intrare este mai mică de 2 kΩ;

— eroarea de măsură a dispozitivului este de 2%.

Pentru încercarea siguranţelor fuzibile în fază de prototip la care se urmăreşte determinarea integralei Joule şi a curentului limitat, cît şi forma de undă a acestor fenomene, pentru aprecierea calitativă, se aplică schema-bloc de măsură cu dispozitivul analogic descris anterior.

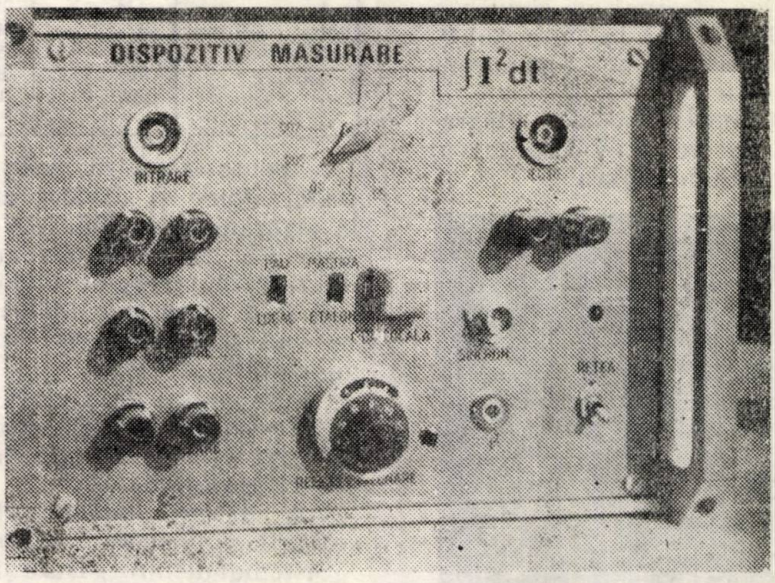


Fig. 4. Dispozitivul analogic pentru măsurarea integralei Joule.

Fotografia dispozitivului analogic realizat în laboratorul de mare putere este prezentată în figura 4.

Pe osciloscraful catodic (*O*) tip 12 0ЭМ—3 se înregistrează simultan curentul limitat de siguranţă $i_1(t)$, funcţia pătratică $i^2(t)$ şi integrala Joule $\int i^2(t)\,dt$.

Pentru încercările de serie a siguranţelor fuzibile în care este necesară o prelucrare mai rapidă a datelor rezultate de la încercare, se aplică sistemul de înregistrare şi prelucrare a formei de semnal (SAPD) tip 5500 — TR 4910 produs de firma „Metrimpex" — RPU, care are rezoluţia de 8 biţi şi precizia de măsură de 1%.

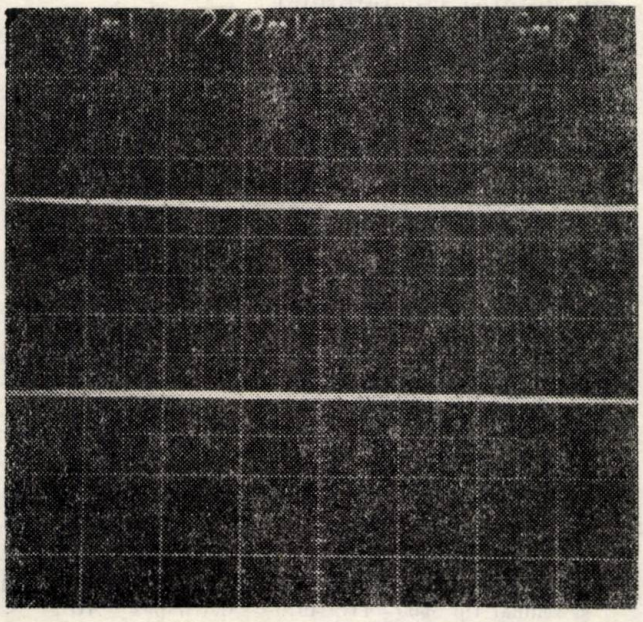


Fig. 5. Oscilogama de etalonare pentru curent.

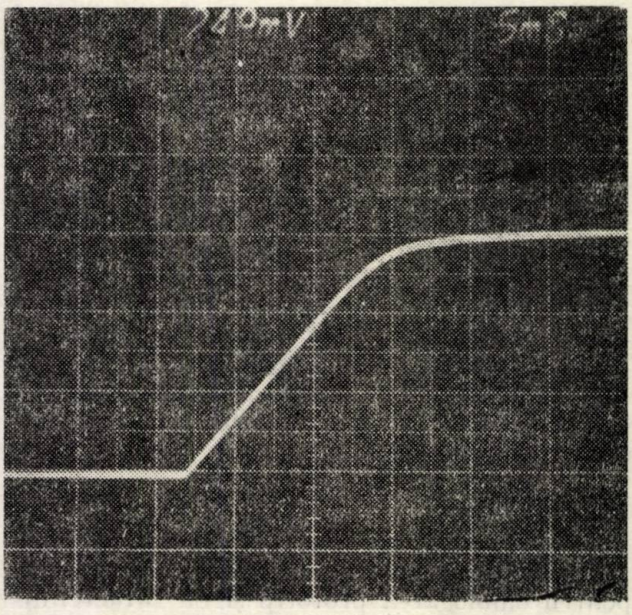


Fig. 6. Oscilograma de etalonare pentru integrala Joule.

3. Rezultate experimentale

Înainte de a începe experimentările cu dispozitivul analogic, se face reglajul circuitului de multiplicare și reglajul de nul al circuitului de intrare.

De asemenea, se face etalonarea dispozitivului atît pentru curent, figura 5, cît și pentru integrala Joule, figura 6.

Experimentările s-au efectuat pe siguranțe fuzibile tip FETp-36kV/31,5 A la Un = 36kV, i_p = 3,5kA în seria de încercare nr. 2 cu curent de scurtcircuit asimetric.

Oscilograma curentului limitat și a integralei Joule rezultate la încercare cu dispotitivul analogic este prezentată în figura 7.

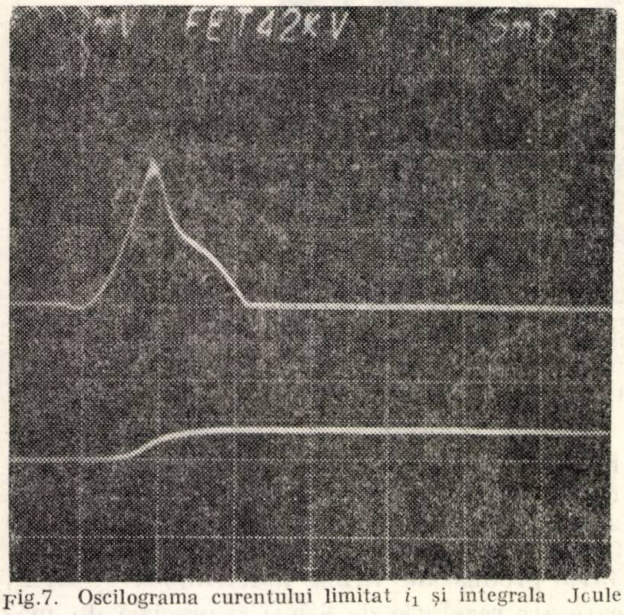


Fig.7. Oscilograma curentului limitat i_1 și integrala Joule $\int i^2\,dt$.

Pe oscilograma din figura 7 s-au determinat următoarele elemente :

— curentul limitat i_l, durata de prearc t_{pa}, durata arcului electric t_a, durata de funcționare t_f, și integrala Joule J_m

Pentru comparație s-a determinat integrala Joule și prin metoda grafică de integrare a curentului. Astfel ,cunoscînd curba curentului limitat din figura 7, de pe oscilogramă, s-a aplicat metoda grafică de integrare a dreptunghiurilor și s-a determinat integrala Joule J_t. De asemenea, s-a determinat integrala Joule J_c prin sistemul de achiziție și prelucrare (SAPD), care oferă o precizie mai bună de calcul. Datele rezultate la încercare sînt consemnate în tabelul 1.

Tabelul 1

Rezultatele încercărilor

Mărimea măsurată	Unitatea de măsură	Valoarea	Eroarea, %
i_p	kA	3,6	—
i_l	kA max.	3,65	—
J_m	A^2s	40.222	+1
I_i	A^2s	39.414	−4
J_c	A^2s	40.012	0
t_a	ms	5,5	—
t_{pa}	ms	6,5	—
t_f	ms	12	—

4. Concluzii

4.1. Asupra dispozitivului de măsură analogic

Dispozitivul analogic se aplică la încercările pentru omologarea prototip și cu caracter de cercetare. El prezintă următoarele avantaje :

— poate fi folosit pentru măsurarea, integralei Joule și duratei arcului electric, atît la siguranțele fuzibile de joasă tensiune, cît și la cele de înaltă tensiune în cazul în care interesează forma de undă a curenților limitați și a integralei Joule ;

— are circuit de protecție la supratensiuni accidentale ;

— are circuit de multiplicare pentru curent la intrarea pe multiplicator ;

— are circuit de etalonare și sincronizare pentru etalonare.

4.2. Asupra dispozitivului de măsură de achiziție și prelucrare automată a datelor

Sistemul de înregistrare și prelucrare a formei de semnal prezintă următoarele avantaje :

— asigură o prelucrare rapidă a datelor rezultate la încercare și se folosește la încercările de serie a siguranțelor fizibile în care parametrii încercării trebuie cunoscuți imediat ;

— are o precizie ridicată în comparație cu alte dispozitive.

4.3. Asupra metodei de măsură

Metoda de măsură posedă o mare universalitate, utilizînd șunturile și lanțul de măsură din dotarea laboratorului.

Determinarea integralei Joule are o mare importanță mai ales în cadrul cercetărilor privind dezvoltarea de noi tipuri de siguranțe fuzibile, iar dispozitivele prezentate permit calcularea ei cu precizie.

Bibliografie

[1] *Barbu, I.* Siguranțe electrice de joasă tensiune. Ed. Tehnică, București, 1983.

[2] *Rüdenberg,* R. Fenomene tranzitorii în sisteme electroenergetice. Ed. Tehnică, București, 1957.

[3] *Trușcă, V.* Dispozitiv analogic pentru măsurarea integralei Joule la siguranțele fuzibile. În: Electrotehnica **27**, nr. 7, București, 1979.

[4] *Hortopan, G., Trușcă, V.* Aparate electrice de comutație. Tehnica fenomenelor rapide. Ed. Tehnică, București, 1985.

[5] *Curcanu, G., Defta, M.* Scheme, metode și dispozitive pentru determinarea integralei Joule și duratei arcului electric la siguranțe fuzibile. Conf. Electrotehnica IEPC. București iunie 1985.

[6] * * * Manual de utilizare a analizorului de formă de undă și semnal tip 5500—TR 4910 — Metrimpex — RPU — 1982.

CZ 621.3.025

TRAFO CURENT
EROARE COMPUSĂ

Dispozitiv de măsură a erorii compuse la transformatoarele de curent

DUMITRU IRIMIA, MIHAIL DEFTA* — CRAIOVA

Siguranța în alimentare neîntreruptă a consumatorilor de energie electrică, depinde în primul rînd de rezistența echipamentelor la solicitări electrice, dinamice și termice care pot apărea în regim de avarie.

Unul din cele mai frecvente regimuri de avarie în sistemele electroenergetice este regimul de scurtcircuit. Pentru a evita deteriorarea echipamentului electrotehnic și întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor, trebuie asigurată o stabilitate termică și dinamică, dar și o protecție corespunzătoare la scurtcircuit a acestui echipament capabil să facă față solicitărilor la care este supus. Acest lucru necesită utilizarea unor traductoare de măsură care să reproducă cît mai fidel fenomenele ce se produc în timpul avariilor ca să poată declanșa în timp util circuitele de protecție.

1. Considerații privind determinarea erorii compuse la transformatoarele de curent în regim tranzitoriu și permanent

În normele existente CEI — 185/86 și CEI — 185/87 sînt prezentate metodele directe pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de curent în regim de tranzitoriu și permanent.

În regim tranzitoriu eroarea instantanee se definește ca fiind raportul (exprimat în procente) dintre curentul de eroare instantaneu maxim și valoarea instantanee de vîrf a componentei alternative a curentului primar aplicat pentru un ciclu de funcționare specific:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{\sqrt{2}\, I_{psc}} \cdot i_\varepsilon, \qquad (1)$$

în care:

$$i_\varepsilon = K_n \cdot i_s - i_p,$$

unde: i_ε este curentul de eroare instantaneu;
i_s — curentul secundar instantaneu;
i_p — curentul primar instantaneu;
K_n — raportul de transformare nominal;
I_{psc} — valoarea eficace a curentului de scurtcircuit simetric nominal.

* ICSIT — M.T.A.E. — Craiova.

În regim permanent se definește eroarea compusă ca fiind valoarea eficace a diferenței dintre valorile instantanee ale curentului primar și produsul dintre raportul de transformare nominal și valorile instantanee ale curentului secundar.

Eroarea compusă se exprimă, în general, în procente și este dată de relația matematică:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_{pl}} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (K_n \cdot i_s - i_p)^2\, dt}, \qquad (2)$$

unde:

K_n este raport de transformare nominal;
I_{pl} — valoarea eficace a curentului primar limită de precizie;
i_s — valoarea instantanee a curentului secundar;
i_p — valoarea instantanee a curentului primar;
T — durata unui ciclu.

Erorile compuse în regim permanent se referă la un curent primar limită de precizie, practic sinusoidal, după amortizarea procesului tranzitoriu. În regim tranzitoriu în prezența componentei aperiodice a curentului primar limită de precizie, cît și a constantei de timp mare a sursei de alimentare, erorile compuse pe înfășurările de protecție au abateri mari pînă la atingerea regimului stabilizat.

2. Metodă directă de măsură a erorii compuse

Măsurarea prin metoda directă a erorii compuse la transformatoarele de curent se face utilizînd schema din figura 1.

Elementele componente ale schemei din figura 1 sînt următoarele:
S_cU — scurtcircuitor ultrarapid destinat închiderii precise a curentului din circuitul primar al transformatorului de curent;
I_p — întreruptor destinat întreruperii curentului de încercare din circuitul primar al transformatorului de curent;
T_r — transformatorul de curent încercat:
S_{p1};S_{p2} — șunturi coaxiale pentru măsurarea curentului de încercare din circuitul primar;
S_s — șunt coaxial pentru măsurarea curentului secundar al transformatorului de curent încercat;

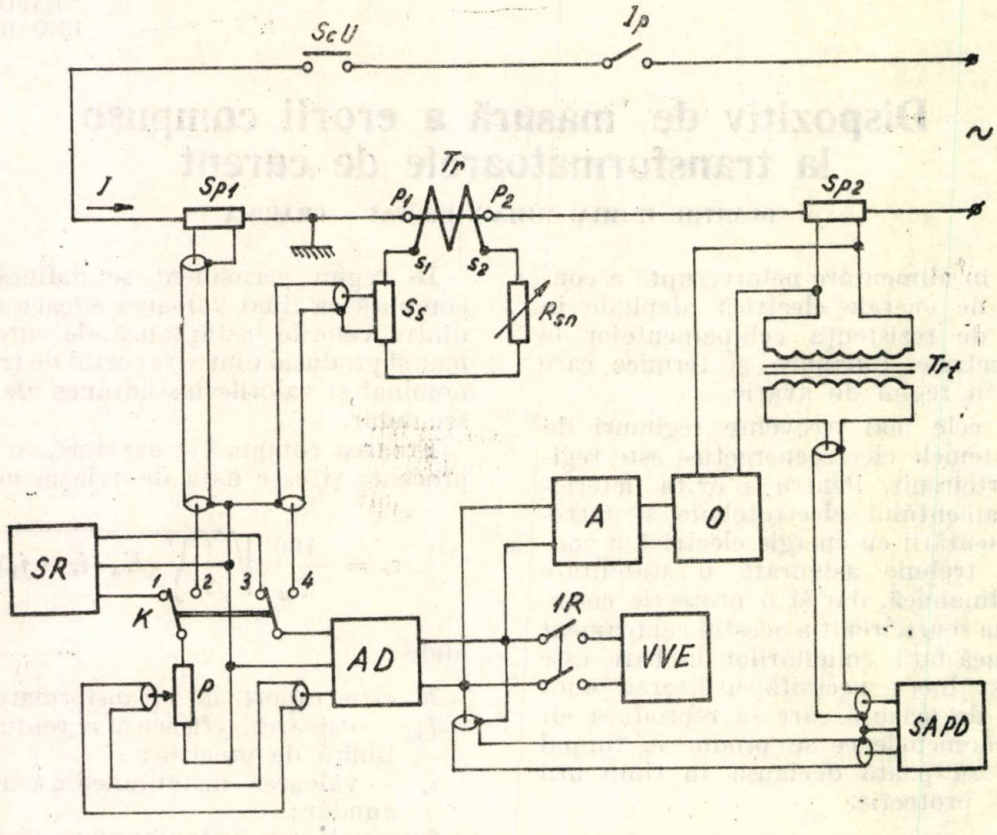


Fig. 1. Schema circuitului de măsură a erorii compuse la transformatoarele de curent.

R_{sn} — rezistența reglabilă de sarcină de putere montată în circuitul secundar al transformatorului de curent încercat;
SR — sursă reglabilă care livrează două tensiuni sinuisoidale în fază, cu frecvența de 50 Hz;
K — comutator ce permite cuplarea amplificatorului diferențial AD fie la sursa SR, fie la cablurile coaxiale ce aduc semnale de la șunturile S_{p1} și S_{p2};
P — potențiometrul de reglaj multitur;
AD — amplificator diferențial destinat efectuării diferenței celor două semnale date de șunturile S_{p1} și S_{p2};
VVE — voltmetru de valori eficace destinat măsurării valorii eficace a semnalului dat de amplificatorul diferențial;
$1R$ — contacte normal deschise, destinate conectării în vederea măsurării a voltmetrului de valori eficace VVE, după un anumit timp prestabilit;
A — amplificator destinat adaptării semnalului dat de amplificatorul diferențial AD la intrarea oscilografului 0;
0 — oscilograf cu galvanometru destinat înregistrării curentului primar și a erorii;
T_{rt} — transformator de tensiune, de raport 1/1 destinat separării galvanice între semnalul dat de amplificatorul diferențial AD și șuntul coaxial S_{p2};
$SAPD$ — sistem de achiziții și prelucrare de date, destinat înregistrării erorii, a curentului primar și de prelucrare a acestora.

3. Experimentări privind măsurarea erorii compuse în regim tranzitoriu și permanent

În funcție de valoarea impusă a curentului limită de precizie din circuitul primar al transformatorului de curent de încercare se aleg șunturile S_{p1} și S_{p2}. Cunoscînd raportul de transformare al transformatorului de încercat se determină valoarea curentului secundar și se alege șuntul necesar S_s.

În funcție de puterea nominală a înfășurării secundare testate se alege rezistența de sarcină necesară prin reglarea rezistenței R_{sn}. Se trece comutatorul K pe poziția 1—3 și se reglează nivelele tensiunilor sursei reglabile SR la valori egale cu cele două tensiuni date de șunturile S_{p1} și S_{p2} cînd sînt parcurse de curenții de încercare. Se închid contactele $1R$ și cu ajutorul potențiometrului P se reglează pînă cînd indicația dată de voltmetru VVE este nulă. Se trece comutatorul K pe pozițiile de probă 2—4. Se deschid contactele $1R$.

În cazul măsurării erorii compuse în regim permanent se alege momentul închiderii scurtcircuitorului ultrarapid ScU în așa fel încît

fenomenele tranzitorii să fie minime. După un timp suficient de la apariţia curenţilor de încercare, în care componentele tranzitorii s-au anulat, se conectează automat (programat) contactele *1R* în vederea citirii valorii eficace a semnalului dat de amplificatorul diferenţial *AD*.

În acelaşi timp prin intermediul osciloscopului *0* şi a sistemului de achiziţii şi prelucrare a datelor *SAPD* se înregistrează curentul primar şi semnalul dat de amplificatorul *AD*.

Eroarea compusă în regim permanent se determină după formula

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta U \cdot \alpha \cdot n}{I_p} \cdot 100\ [\%], \qquad (3)$$

unde :

ΔU — tensiunea citită de către voltmetrul de valori eficace *VVE* exprimată, în V;

α — coeficientul de transfer al şuntului S_s din secundar exprimat, în A/V;

n — raportul de transformare al transformatorului încercat;

I_p — valoarea eficace a curentului primar de încercare, exprimată în A.

4. Concluzii

4.1. Eroarea de măsură maximă a întregului lanţ de măsură al dispozitivului pentru determinarea erorii compuse este de ± 6%.

4.2. Metoda şi dispozitivul prezentat permit realizarea instalaţiei de măsurare într-un timp relativ scurt, obţinîndu-se o productivitate mărită în executarea măsurătorilor.

Bibliografie

[1] CEI – 185/1986 şi CEI – 185/1987.
[2] STAS 11612/1981.
[3] * * * Catalog circuite integrate analogice — IPRS — Băneasa.

CZ 62 1.3 17 :537.5

ÎNALTĂ TENSIUNE
DESCĂRCĂRI PARŢIALE

Echipament ultrasonic de măsurare a descărcărilor parţiale la transformatoare

ANDREI MARINESCU, GENA GEORGESCU, VALERIU FILIŞEANU* — CRAIOVA

Introducere

Prezentînd un interes crescînd, metoda ultrasonică de detectare a descărcărilor parţiale (DP) din transformatoare este folosită în multe ţări din Europa, în SUA şi în Japonia.

Literatura de specialitate furnizează informaţii referitoare la aparatura folosită şi interpretarea rezultatelor.

Încă din anul 1980, în cadrul ICSIT-MTAE Craiova s-au întreprins cercetări de laborator şi apoi de exploatare care au demonstrat oportunitatea folosirii acestei tehnici de măsură pentru diagnosticare la transformatoare de forţă, cu echipament de concepţie proprie.

În lucrare se prezintă echipamentul de măsură care permite detecţia, localizarea şi transmiterea informaţiei despre nivelul de DP, apărut în transformator în timpul funcţionării. Totodată, se prezintă problemele legate de calibrarea instalaţiei şi evoluţia tipică a nivelului de DP după punerea în funcţiune a transformatoarelor.

* I.C.S.I.T. — M.T.A.E. — Craiova.

1. Descrierea echipamentului de măsură

În figura 1 este prezentată schema-bloc a instalaţiei tip DUDP—2. Ea este alcătuită din unul sau mai multe traductoare piezoelectrice (maxim patru), o unitate principală de prelucrare a informaţiei (montată, de obicei, pe transformatorul de supravegheat) şi o unitate secundară de comandă şi semnalizare (amplasată în camera de comandă).

1.1. Traductorul ultrasonor

Traductorul trebuie să fie capabil să producă un semnal electric la apariţia unei unde de presiune în ulei, de amplitudine foarte mică, ca urmare a procesului de descărcări parţiale.

Constructiv, traductorul are la bază două cristale din piezoceramică PZT montate diferenţial. Calitatea materialului piezoceramic şi dimensiunile sale au fost alese pentru obţinerea unei sensibilităţi maxime. Contactoru stabil al elementelor sensibile s-a realizat prin înglobare în răşină epoxidică.

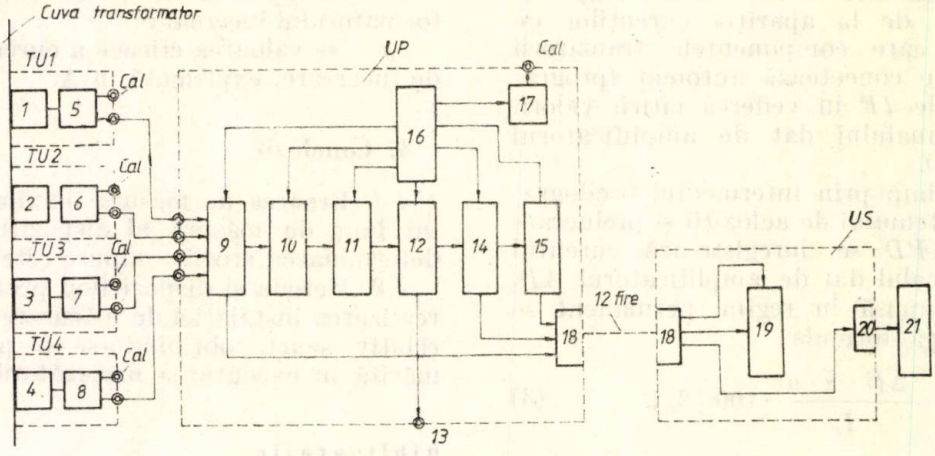


Fig. 1. Schema-bloc a instalației DUDP 2:
1—4 — elemente piezoelectrice; *5—8* — preamplificatoare; *9* — comutator electronic; *10* — amplificator; *11* — redresor; *12* — detector; *13* — ieșire osciloscop; *14* — comparator; *15* — circuit semnalizare *UP*; *16* — circuit alimentar *UP*; *17* — generator de calibrare; *18* — conector; *19* — circuit semnalizare *US*; *20* — conector; *21* — înregistrator.

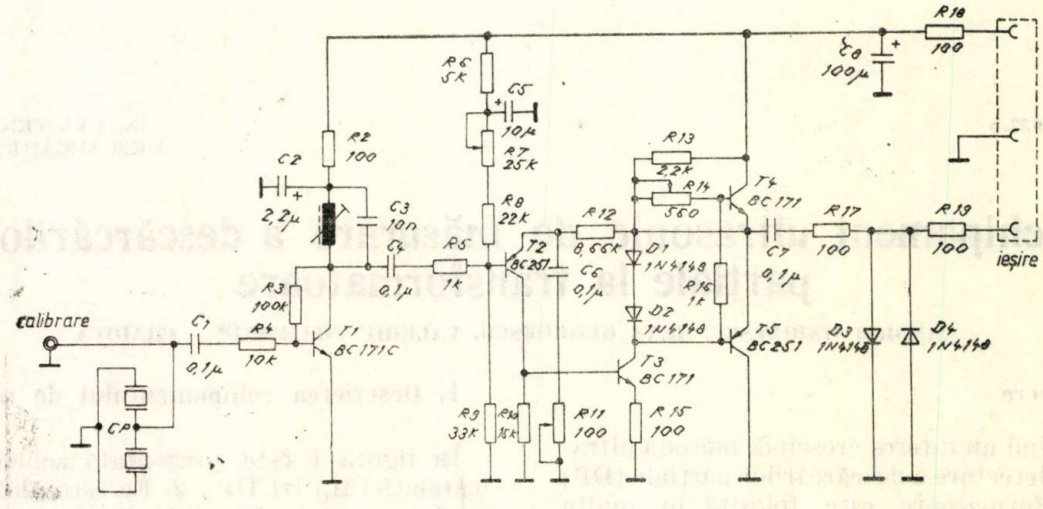


Fig. 2. Schema electrică a preamplificatorului.

Frecvența de rezonanță a cristalelor PZT este de peste 200 kHz, iar frecvența de lucru este cuprinsă între 20 și 100 kHz, așa cum a rezultat din studiul spectrului de frecvență al DP din izolația hîrtie-ulei [1,2,3].

Preamplificatorul este amplasat în carcasa traductorului și reprezintă un amplificator de bandă îngustă acordat pe frecvența centrală de 60 kHz (fig. 2). El este realizat cu tranzistoare, impedanța de intrare este de circa 20 kΩ reprezentînd un compromis între sensibilitate, raport semnal/zgomot și tendința de autooscilație. Banda de trecere este de circa 5 kHz la nivelul al 3-lea dB, iar amplificarea globală este de 50 dB. Semnalul de ieșire reprezintă un tren de oscilații amortizate cu durata de semiamplitudine de aproximativ 20—30 µs.

Valoarea obișnuită a semnalului de ieșire este de ordinul a 50—100 mV valoare vîrf-vîrf.

Preamplificatorul este realizat cu impedanță mică de ieșire pentru a putea lucra pe sarcina reprezentată de cablul coaxial (cca 75 m lungime), care face legătura cu unitatea principală de prelucrare a informației.

Traductoarele împreună cu preamplificatoarele respective sînt calibrate astfel încît să dea același semnal de ieșire pentru o excitație ultrasonică dată.

1.2. Unitatea principală de prelucrare a informației

După o amplificare constantă de cca 30 dB în banda 10—100 kHz urmează un redresor ideal cu rolul de detector cu constantă de

timp mică a cărui ieşire serveşte pentru urmărirea pe osilograf a înfăşurătoarei oscilaţiei amortizate determinate de impulsul ultrasonor recepţionat.

În continuare semnalul este transmis unui circuit de detecţie a valorii de vîrf a cărui caracteristică de frecvenţă este dată în figura 3.

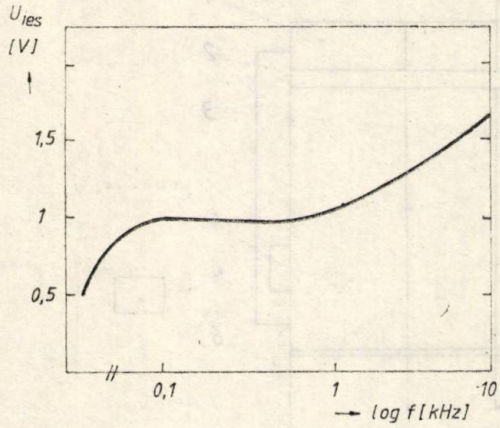


Fig. 3. Caracteristica de frecvenţă a detectorului de valoare de vîrf utilizat.

În domeniul 100 Hz—1 kHz indicaţia nu depinde de frecvenţa de repetiţie a impulsurilor şi este, deci, proporţională cu amplitudinea impulsurilor de DP. Aparatul poate fi folosit în domeniul de frecvenţe de repetiţie cuprins între 50 Hz şi 5 kHz.

Tensiunea de ieşire este comparată cu o tensiune de referinţă. La depăşirea acesteia este comandat un circuit de temporizare care asigură semnalizarea în cazul menţinerii semnalului un anumit timp reglat.

Unitatea de prelucrare asigură şi înregistrarea continuă în timp a nivelului DP, cît şi calibrarea electrică a echipamentului.

1.3. Unitatea secundară

Unitatea secundară este montată în camera de comandă şi permite comutarea traductorului pe care se face măsurarea iar în cazul depăşirii valorii prereglate a nivelului de DP semnalizează această situaţie.

Există posibilitatea blocării comutării automate a traductoarelor de măsură pentru a urmări un anumit traductor.

Unitatea secundară permite conectarea unui înregistrator $x—t$ pentru urmărirea evoluţiei în timp a nivelului DP.

2. Calibrarea traductoarelor

Echipamentul realizat permite calibrarea parţială şi integrală a circuitului de măsură.

Calibrarea parţială (electrică) se efectuează cu ajutorul unui generator de frecvenţă inclus în unitatea principală şi are ca scop verificarea în orice moment a preamplificatorului din traductor, a liniei de legătură şi a lanţului de măsurare din unitatea principală.

În acest scop la intrarea în preamplificator se aplică o tensiune sinusoidală de amplitudine constantă cu frecvenţa de 60 kHz. Indicaţiile aparatului de măsură trebuie să se afle într-o zonă stabilită pentru orice traductor ultrasonor utilizat în instalaţie.

Calibrarea integrală a instalaţiei se face prin metoda „faţă în faţă" în care un traductor piezoelectric etalon utilizat ca generator de oscilaţii ultrasonore este aplicat pe traductorul piezoelectric de etalonat al instalaţiei DUDP, asigurîndu-se un contact acustic corespunzător. La alimentarea etalonului cu un semnal electric de tensiune şi frecvenţă dată se verifică identitatea răspunsului traductoarelor de etalonat. Pe această cale este posibil de verificat şi caracteristica de frecvenţă a traductoarelor de etalonat, dacă traductorul-etalon este un traductor de bandă largă.

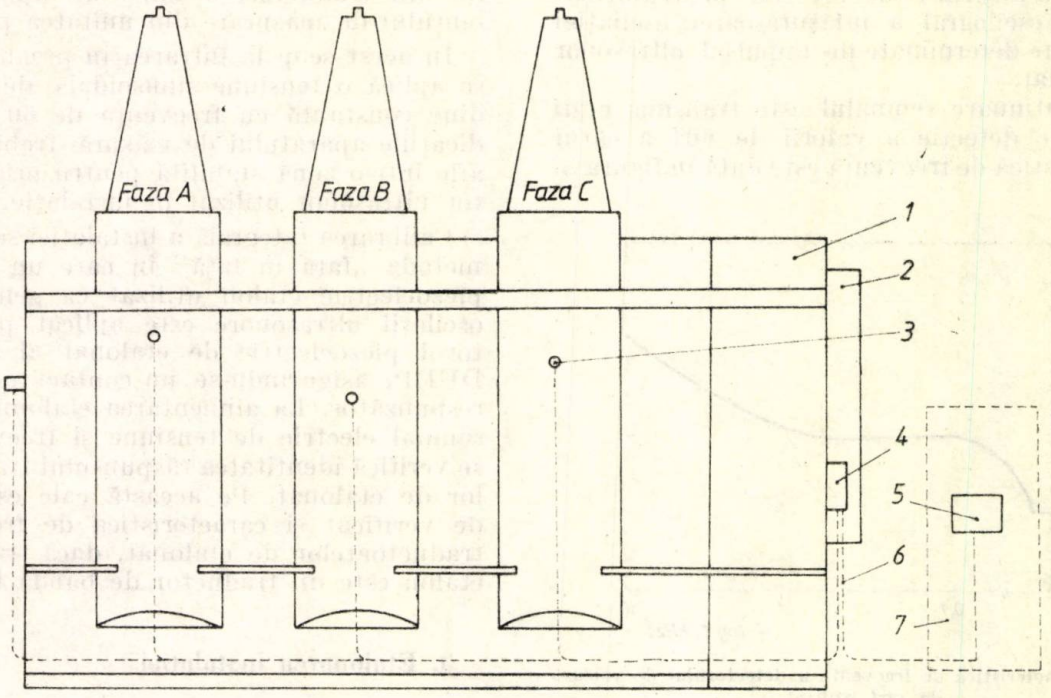
3. Etalonarea instalaţiei

Etalonarea instalaţiei are ca scop asigurarea unei corelaţii între mărimi caracteristice şi acustice ale DP.

În prezent se acceptă că pericolul prezentat de DP într-o structură izolantă poate fi dat fie de amplitudinea (presiunea acustică) a acestora, fie de energia lor. Întrucît există informaţii insuficiente referitoare la energia DP, amplitudinea semnalelor rămîne decisivă. Cum amplitudinea semnalelor acustice este proporţională cu sarcina aparentă a DP se conchide că se poate găsi o corelaţie între aceste două mărimi. Rămîne dificultatea distanţei variabile între sursa de DP şi cuva transformatorului pe care se montează traductorul piezoelectric. Dacă se acceptă că descărcările superficiale sînt cele mai probabile de a fi detectate ultrasonic (la distanţe mai mici în ulei este prea puţin probabil că pot apare DP stabile, iar la distanţe mai mari, deci la descărcări în interiorul bobinajului intervin atenuări foarte mari) se poate găsi o distanţă medie la care să se facă o corelaţie între cele două mărimi menţionate (fig. 4).

Ca urmare, se efectuează o etalonare în pC producînd descărcări superficiale la distanţa medie considerată (pentru transformatoare de construcţie asemănătoare) într-o cuvă de transformator model.

Procedînd în acest mod, instalaţia DUDP a fost etalonată în pC pentru transformatoare-bloc de 400 MVA 400/24 kV şi transformatoare de interconexiune de 250 MVA 400/110 kV.



F ig. 4. Montarea instalației DUDP—2 pe transformator: *1* — cuva transformatorului; *2* — cofret; *3* — traductor ultrasonor; *4* — unitate principală; *5* — unitate secundară; *6* — cablu racord; *7* — camera de comandă.

4. Montarea instalației pe transformator

Traductoarele ultrasonore se montează pe cuva transformatorului cu ajutorul unor magneți permanenți în zonele cele mai probabile de defect ale bobinajului și (sau) ieșirilor fiecărei faze. În figura 4 se indică amplasarea instalației pe cuva unui transformator de mare putere. Pe cuva *1* a transformatorului se montează magnetic cele 4 traductoare *3*. Unitatea principală *4* este amplasată în cofretul *2* iar unitatea secundară *5* în camera de comandă *7*.

5. Experimentări de laborator

Prin experimentările în laborator pe modele s-au clarificat probleme legate de sensibilitate, amortizarea introdusă de pereți și ecrane din diferite materiale și de diferite dimensiuni, reflexiile introduse de pereți etc.

Rezultatele au fost comunicate în lucrări anterioare [2,4]. Precizia localizării sursei de DP la modele de izolație și la transformatoare experimentale a fost foarte bună (sub 10 %).

Avînd în vedere multitudinea punctelor posibile de apariție a DP în izolația transformatorului, a fost normal ca nivelele mici (sub 300 pC) măsurate în laborator pe cale electrică să nu fie detectate pe cale acustică. Este unanim recunoscut că metoda acustică este sensibilă îndeosebi la DP exterioare bobinajului, detectate numai din locuri accesibile montării traductoarelor pe cuvă.

6. Experiența de exploatare

În construcția realizată nu s-au întîmpinat dificultăți în ceea ce privește zgomotul de fond sau semnale perturbatoare de lungă durată. Aceasta a confirmat alegerea corespunzătoare a frecvenței de măsurare de cca. 60 kHz.

O atenție deosebită trebuie acordată legării la pămînt a instalației de măsurare pentru evitarea semnalelor perturbatoare.

În timpul funcționării nivelul DP măsurat poate evolua în diverse moduri, așa cum rezultă din figura 5, unde, pe ordonată sînt indicate nivele de DP cu unul-două ordine de mărime mai mari decît valorile limită acceptate la livrare.

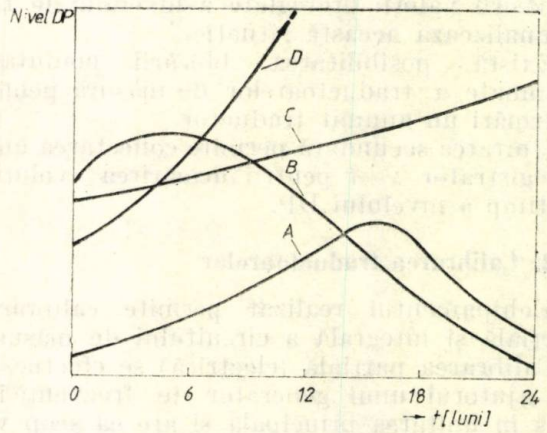


Fig. 5. Evoluții tipice ale nivelului DP la transformatoare

Întrucît în fabrica constructoare, transformatorul are un nivel mic de DP este normal ca la scurt timp de la punerea în funcțiune să se regăsească un astfel de nivel (curba A). În caz contrar (curbele B,C,D), se poate presupune că nivelele mari de DP au fost provocate de nerespectarea tehnologiei de punere în funcțiune, în izolație apărînd aer, impurități, umiditate.

Natura și cantitatea acestora vor influența alura curbelor de evoluție în continuare a nivelului DP.

Creșteri ulterioare (curba A și B) nu trebuie să conducă la interpretări și hotăriri definitive în legătură cu starea transformatorului, după cum se vede, în ambele cazuri, nivelul DP scade ulterior lent la valori nepericuloase (din cauza absorbției aerului în ulei, a descompunerii apei aflate în cantitate mică etc.). Curba C cu creștere lentă și continuă, începînd de la un nivel mare de DP, presupune efectuarea altor măsurători auxiliare de urmărire a stării izolației transformatorului (analiză cromatografică, tgδ etc.). O astfel de alură a curbei de variație se poate datora prezenței aerului sau apei în cantități importante. În schimb, creșterea bruscă în timp a nivelului de DP (curba D) poate conduce la străpungerea transformatorului și cere luarea unor măsuri imediate.

7. Concluzii

Metoda ultrasonoră oferă o alternativă la metodele utilizate în prezent pentru controlul izolației în procesul de exploatare a transformatoarelor. Prin posibilitățile de înregistrare continuă în timp a evoluției DP se realizează un control automat al echipamentului aflat în funcțiune.

Construcția realizată s-a dovedit insensibilă la influența diferitelor zgomote și perturbații exterioare.

Aprecierile efectuate asupra dinamicii DP și rezultatele analizei gazelor dizolvate în ulei, permit luarea unei hotăriri definitive privind starea izolației transformatorului.

Rezultatele și experiența acumulată pînă în prezent justifică continuarea lucrărilor de introducere a metodei ultrasonore cu echipamentul prezentat, la controlul transformatoarelor în exploatare.

Bibliografie

[1] *Keizaburo, K.* Improvement of reliability for 500 kV transformers. În: Hitachi Rev, 7 (1975), 11,421—427.

[2] *Marinescu, A., Georgescu, G., Filișeanu, V.* Instalație pentru detectarea descărcărilor parțiale din izolația transformatoarelor folosind tehnica emisiei ultrasonore. În: Electrotehnica 4 (1984), p. 16—20.

[3] *Harold, R.* Relationship between ultrasonic and electrical measurement of under oil corona sources. În: TIEEE on Electrical Insulation 2 (1976), 1, 1511—1518.

[4] *Marinescu, A., Georgescu, G., Filișeanu, V.* Detectarea DP în izolația hîrtie-ulei a transformatoarelor cu folosirea tehnicii emisiei ultrasonice. În: Buletin Interelectrotest 7 (1984), 157—164.

CRONICI

Produse noi în programul de export al VEB Kombinat Robotron

Sistem electronic de prelucrare a datelor

Prin modelul sistemului de prelucrare a datelor EC 1057, VEB Combinat Robotron prezintă cea mai nouă realizare a sa, ca rezultat al cooperării cu succes desfășurate în cadrul SUMEC. Sistemul de prelucrare a datelor robotron EC 1057 este un model aparținînd nivelului 3 al SUMEC și poate fi încadrat în clasa de performanțe mijlocii a SUMEC. Imbunătățirile procesorului central, gama de echipamente periferice lărgită și înnoită, ca și sistemul de operare extins deschid noi posibilități de utilizare și asigură o paletă largă de aplicații.

Pe lîngă folosirea sa în domeniile tehnico-științific și comercial, robotron EC 1057 este destinat, în condițiile utilizării numeroaselor sale configurații, aplicațiilor complexe din domeniul CAD/CAM, unde este calculator principal, sau al sistemelor multiprocesor sau de teleprelucrare. Configurațiile robotron EC 1057 cuprind calculatoare personale, sisteme tip CAD, cuploare de rețele locale, minicalculatoare locale sau la distanță, ca și o largă paletă de echipamente periferice și terminale.

Următorii parametri caracterizează sistemul robotron EC 1057 :

- folosirea principiilor de operare ESER nivelul 3 ;
- realizarea unui sistem biprocesor ;
- viteză de lucru de 1,0 — 1,6 milioane op/s ;
- capacitatea memoriei centrale : maximum 16 MBytes ;
- un concept confortabil de întreținere, control și diagnostic ;
- existența unui procesor de operare și service extins, tip EC 1557 care poate fi folosit mult mai eficient la diagnosticul și la depistarea defectelor unității centrale ;
- sprijinirea capabilităților funcționale și specifice echipamentelor prin sistemul de operare extins OC — 7 EC ;
- punerea la dispoziție a unei largi configurații, cuprinzînd echipamente SUMEC noi sau extinse, precum și echipamente SUMEC pentru teleprelucrare ;
- sistem de calculatoare duale prin adaptorul canal — canal.

Unitatea centrală EC 2157 — nucleu al sistemului de prelucrare a datelor robotron EC 1057 — poate fi realizată ca un sistem cu un procesor de bază sau, prin adăugarea unui procesor de legătură, ca un sistem dublu-procesor.

Complexele funcționale cele mai importante sînt :

- memoria centrală realizată cu circuite MOS de 64 KBit, în module de 4, 8 sau 16 MBytes ;
- unitate centrală complexă cu maximum 2 procesoare ;
- sistem de intrare/ieșire cuprinzînd 5 canale multiplexoare pe Byte și canale multiplexoare de blocuri.

Procesorul de operare și service EC 1557, mijlocul direct de legătură cu unitatea centrală EC 2157, servește la operarea de sistem sau de service, ca și la inițializarea unității centrale. El sprijină pe larg operațiile de service, diagnoză și operare ale sistemului. Procesorul de service și operare, ca echipament de sine stătător din punct de vedere constructiv, este cuplat la un canal I/E al unității centrale. Pentru încărcarea microprogramelor, pe lîngă memoria RAM, în procesorul de operare și service se găsesc și maximum 4 unități de floppy — disk standard, de 8". Ca imprimantă se utilizează o imprimantă matriceală cu o viteză de 100 caractere/secundă.

Pentru a putea folosi avantajele mari ale unității centrale EC 2157 și pentru a putea extinde posibilitățile de utilizare a sistemului de prelucrare a datelor robotron EC 1057, stau la dispoziție numeroase echipamente periferice noi sau perfecționate. La acestea aparțin asemenea echipamente periferice care pot fi cuplate la un canal al unității centrale EC 2157, prin intermediul interfeței de intrare/ieșire standardizate în SUMEC :

- subsistem de memorie cu discuri fixe EC 5063, alcătuit dintr-o unitate de control al echipamentelor, module de control și memorii pe discuri fixe cu o capacitate de 317,5 MBytes ;
- subsistem de memorie pe benzi magnetice, compus din unitatea de control a benzilor magnetice EC 5527,02 ca unitate de control dual cu maximum 16 unități de benzi magnetice funcționînd pe baza principiului de înregistrare NRZ/PE (BC 5002.06), sau PE/GGR (EC 5027) ;
- subsistem grafic SUMEC EC 7945, compus din terminale grafice inteligente IGT K 8918, digitizoare de înaltă rezoluție HDG K 6404 și plottere de format A2 și A3, cuplabile la unitatea de control a terminalelor de tip EC 7922.31 M.

Prin intermediul mijloacelor tehnice aflate în dotarea sistemului robotron EC 1057, se realizează aplicații de teleprelucrare progresive.

Cu sistemele de terminale și ecrane de afișare, împreună cu pachetele software ale Combinatului Robotron pot fi construite aplicații complexe de sisteme decentralizate de prelucrare a datelor, de sisteme multicalculator realizate pe mai multe nivele de teleprelucrare.

Din complexul de sisteme de operare OC—7 EC fac parte sistemele de operare SVS și SVM, ca și o gamă de componente, la alegere, de tipul 2.

La componentele de tipul 2 aparțin edițiile perfecționate ale ASSEMBLER 2, SORTARE/MIXARE 2, PL 1, COBOL, FORTRAN, RPG 2, PASCAL și FORTRAN, ca și subsistemul orientat funcțional GKS ESER.

Prin intermediul VEB Kombinat Robotron se oferă un larg sortiment de pachete software orientate pe probleme, care pot fi separate în software standard și în software orientat pe ramură.

Dintre pachetele de programe ale sofware-ului standard se pot cita : sistemul de bancă de date Robotron DBS/R și MDBS/R, sistemul de regăsire a informațiilor AIDOS/VS, sistemul de comunicații de date tip DAKS/VS, ca și procedurile matematice NUMATH, STATISTIK și SIMDIS.

În domeniul software, orientat pe ramuri, se pune la dispoziție o mare varietate de aplicații pentru cele mai deosebite domenii.

Subsistemul grafic EC 7945

Posturile de lucru CAD/CAM, atașate sistemelor mari de calcul tip ESER (ESER—EDVA), permit folosirea puterii de calcul a unităților centrale moderne de tip ESER, ca și a bogatei lor periferii, pentru rezolvarea unor proiecte dificile.

VEB Kombinat Robotron pune la dispoziție acest tip de echipamente pentru intrarea/ /ieșirea informațiilor grafice ca și un software grafic de bază corespunzător. O mare parte din problemele întîlnite în industrie, cercetare și învățămînt pot fi rezolvate eficient pe baza micro- și minicalculatoarelor. Posibilitățile acestor echipamente de a lucra ca terminale ale unor calculatoare puternice, ierarhic superioare, le asigură mari rezerve de eficiență. Problemele complexe solicită însă folosirea unor calculatoare puternice. Calculatoarele tip ESER-EDVA posedă performanțele necesare acestui scop. Viteza lor mare de calcul, capacitatea memoriei operative, gama largă a echipamentelor periferice ce pot fi atașate, existența unor array-procesoare speciale, posibilitățile sistemelor moderne de operare și oferta bogată de software orientat pe probleme (printre altele sisteme de bănci de date) fac din ESER—EDVA, sisteme utile pentru prelucrarea problemelor complexe tip CAD/CAM. Subsistemul grafic EC 7945 bazat pe echipamente deja dezvoltate, universal aplicabile ale Combinatului Robotron, permite introducerea și extragerea informațiilor grafice din sisteme ESER—EDVA, făcîndu-le utilizabile pe scară largă la rezolvarea problemelor de tip computer-graphic. Pe lîngă echipamente, subsistemul grafic EC 7945 cuprinde, ca software de bază, și implementare standardul ISO, GKS, pentru sistemele ESER—EDVA.

Subsistemul grafic EC 7945 reunește echipamente grafice ca :

— terminalul grafic interactiv EC 7945 — 12 (robotron K 8918) cu :

- monitorul robotron K 7229.25 ;
- tastatura robotron K 7637.9X,

și, opțional :

- tableta grafică EC 7945 — 13 (robotron K 6405) ;
- imprimanta matricială grafică EC 7084 (robotron K 6312) ;

— digitizorul EC 7945 — 14 (robotron—REISS K 6404) ;

— plotterul EC 7945 — 15 (robotron K 6411) ;

— plotterul robotron — REISS K 6418.

Echipamentele grafice pot fi controlate prin intermediul adaptorului multiplu de echipamente EC 7945—11 (robotron D 4151) în varianta locală a sistemului de monitoare EC 7920.M. Subsistemul grafic EC 7945 este prevăzut a fi cuplat la modelele EC 1055.M și EC 1057. Este posibilă și cuplarea la alte sisteme a nivelelor 2 și 3 ale ESER.

Modul de lucru al sistemului de terminale EC 7920.M permite realizarea foarte flexibilă a unor posturi de lucru CAD, liber configurabile, din echipamente aparținînd subsistemului grafic, precum și legarea lor la diferite modele din seria ESER. Un post de lucru CAD constă din cel puțin un echipament grafic aparținînd subsistemului grafic și un terminal alfanumeric EC 7927.01 M prin care se va realiza comunicarea cu utilizatorul. Pentru folosirea la maximum a capabilităților echipamentelor, un rol deosebit îl are software-ul de bază atașat.

Sistemele ESER—EDVA ale nivelelor 2 și 3 ale clasei superioare de capabilități lucrează sub controlul sistemelor de operare SVM, și SVS ale OC — 7 EC. Sprijinul subsistemului grafic se va realiza deci sub controlul acestui sistem de operare.

Pe plan internațional s-a impus ca standard pentru programarea aplicațiilor grafice, Graphical Kernsystem (GKS). Din această cauză, a fost pusă la dispoziția utilizatorilor o implementare a standardului GKS—ISO, GKS/ES direct în sistemul de operare.

Prin intermediul GKS/ES se oferă o varietate de funcții deosebit de bogată. Pachetul GKS/ES a fost astfel dezvoltat încît permite reducerea dependenței față de sistemele de

operare și asigură implementarea facilă a noilor echipamente.

GKS/ES posedă o structură cu trei straturi :
— nivelul 1 permite totalitatea funcțiilor GKS independent de sistemul de operare sau echipamente speciale. El este scris în totalitate în FORTRAN 77 ;
— nivelul 2 adaptează funcțiile GKS la modul specific de lucru al echipamentelor grafice și realizează o „uniformizare de inteligență". Și acest nivel este scris în FORTRAN 77 și conține așa-numitele drivere de echipamente ;
— nivelul 3, deși independent de echipamente, este dependent de sistemul de operare. În acest nivel sînt conținute programe speciale, specifice fiecărui sistem de operare sub controlul căruia lucrează GKS/ES. Programele acestui nivel sînt scrise în limbaj de asamblare.

Independența față de echipament, portabilitatea programelor și asigurarea unei interfețe generale între utilizator și software-ul grafic conferă un important sprijin subsistemului grafic. Prin intermediul GKS/ES se realizează legătura, numită interfață de aplicație GKS, prin intermediul căreia se fac apelurile funcțiilor grafice de către programul de aplicație. Subsistemul grafic, împreună cu sistemul de programe FEMA 85M bazat pe metoda elementelor finite, a fost realizat în cooperare de către : Institutul central de cercetări nucleare al Academiei de științe, Institutul de construcții industriale al Academiei de construcții a RDG și VEB Kombinat Robotron-Elektronik din Dresda. Metoda elementelor finite (FEM) și-a găsit o largă aplicare în multe industrii (de ex. construcții de mașini, construcții civile, construcții auto și navale, zborul aerian și cosmic) ca un mijloc de analiză a structurilor, dat fiind că poate fi utilizată fără limitări în cercetarea rigidității statice și dinamice. Prelucrarea problemelor importante din practică este consumatoare de resurse și de timp de calcul datorită necesității de a se rezolva sisteme mari de ecuații liniare. Folosirea modulului matriceal MAMO 1M în cadrul unui sistem ESER—EDVA duce la reducerea timpului de calcul și, prin intermediul subsistemului grafic, la o comunicare fără probleme între utilizator și mașină. Sistemul de programe își dovedește, printre altele, utilitatea, mai ales în construcții civile și în construcția de mașini unelte.

G.A.

* * *

Produse ale combinatului, ILKA la Tîrgul de primăvară de la Leipzig 1988

VEB Kombinat ILKA RDG este bine cunoscut în lume pentru produsele sale de vîrf în domeniile aparaturii și instalațiilor pentru condiționarea aerului, climatizare, tehnica frigului etc.

În primăvara acestui an VEB Kombinat Luft-und Kältetechnik din Republica Democrată Germană a prezentat la Tîrgul de la Leipzig o serie de instalații și aparate ale căror performanțe tehnico-economice îi întăresc renumele de care se bucură pe plan mondial.

În cele ce urmează se vor prezenta unele din produsele expuse la această manifestare tehnico-economică.

Sistem complex pentru condiționarea aerului, seriile KS 1 ... KS 5 fabricat de VEB Maschinen-und Aparatebau Scheuditz

Prin sistemele de condiționare a aerului din seriile KS1 ... KS5 ILKA oferă o generație de echipamente cu consum redus de energie și largă aplicabilitate practică.

Sistemele acestor serii includ unități frigorifice compacte, cu apă de răcire, precum și condensatoare de răcire a aerului dispuse în rînduri.

Debitul aerului variază între 2 240 m³/h, la cea mai mică unitate, și 25 000 m³/h, la varianta de maximă putere. Efectul specific refrigerent este în medie cu 20% mai mare decît la alte echipamente similare. Combinatul ILKA livrează și variante tropicalizate eficiente.

Consumul de energie este mai redus cu 30% decît la alte produse similare. Parametrii optimi de funcționare a unor astfel de sisteme se datorează :

— utilizării unor compresoare frigorifice semihermetice adecvate ;

— optimizării principalelor componente incluse în circuitul de refrigerare ;

— folosirii unor condensatoare de răcire moderne, dezvoltate recent. Căldura de condensare poate fi folosită pentru încălzire, apa de răcire cedînd o temperatură de pînă la 70°C ;

— includerii unor noi ventilatoare ;

— realizării unor efecte de răcire și încălzire înalte ;

— reducerii la minimum a pierderilor de presiune a aerului;

— umidificarii în interiorul sistemului prin intermediul unei instalații de umidificare.

Folosirea controlerului cu microprocesor RK 80 în tehnica de programare DDC oferă o serie de avantaje cum sînt: controlul optim al structurilor, anclanșarea unei unități pentru economia de energie, funcționarea sub control permanent și posibilitatea de autodiagnoză la necesitate.

Instalație ILKA pentru producerea gheții artificiale în scopuri sportive

În cazurile unor numeroase discipline sportive, antrenamentul pe patinoare artificiale necesită condiții similare celor competiționale.

Programul ILKA permite realizarea de incinte cu gheață pentru hochei, curse de bob, patinaj, schi de performanță, precum și asigurarea condiționării aerului la diverse tipuri de construcții cu destinație sportivă. VEB Maschinenfabrick Halle (unitate a combinatului ILKA) a realizat, în cooperare cu WTZ Bauten — Centrul științifico-tehnologic pentru construcții sportive din Leipzig, un însemnat număr de centre sportive cu instalații frigorifice performante.

Un exemplu edificator al eficienței colaborării acestor unități este realizarea pistei de bob și curse de sănii în baza know-how-ului deținut de combinatul ILKA și WTZ-Bauten pentru Jocurile Olimpice de iarnă 1988 de la Calgary, Canada. Echipamente similare pentru asigurarea curselor de bob și sănii fabricate la Oberhof și Altenburg și-au dovedit eficiența în realizarea traseelor și arealelor de gheață în R.D.G., R.S.C., R.S.F.I., Austria și Elveția.

Printre aceste realizări se înscriu proiectarea și construirea traseelor pentru patinaj rapid de la Berlin și prima structură în gheață artificială pentru saltul de 70 m înălțime de la Oberhof.

În scopul optimizării consumului energetic aceste sisteme de refrigerare pentru destinații sportive au fost proiectate și realizate pe principiul cuplării răcire — încălzire. În acest fel, energia calorică obținută fără cheltuieli speciale se poate utiliza în scopuri de încălzire.

* * *

Dezumidificator ILKA tip 4516

Dezumidificatorul ILKA poate fi utilizat în incinte, încăperi cu destinație specială, camere de depozitare cu profil medical, depozite de electrozi sau alte produse sensibile la umezeală, stații centrale de anclanșare și transformare, precum și în muzee, arhive și în alte spații în care este deosebit de importantă evitarea efectelor nedorite, produse de umezeală și coroziune.

Dezumidificatoarele ILKA acționează după principiul decongelării. Aerul umed este dirijat, prin intermediul unui ventilator, pentru a trece printr-o unitate compresor-condensator.

Un evaporator extrage surplusul de apă din aer prin intermediul condensării. După răcire și dezumificare, aerul este din nou încălzit la nivelul condensatorului.

Dezumidificatoarele utilizează efectul pompei de căldură. Din această cauză, temperatura aerului din exterior este cu aproximativ 10°K mai înaltă decît în interiorul instalației. Concomitent, camera este încălzită cu aerul provenit din dezumificare, rezultînd o importantă economie de energie.

Caracteristici tehnice:

— Consum de putere .... 670 W;
— Debitul de aer ..... 230 m³/h;
— Greutatea ..... 42 kg;
— Domenii de aplicare ... 10°...35°C;
— Capacitatea de dezumificare 0,7 l/h;
— Dimensiuni de gabarit ... 650×390 × ×310 mm.

* * *

Aparat pentru condiționarea aerului KT 4 de tip modular

Aparatul pentru condiționarea aerului KT 4 de tip modular, fabricat de VEB Maschinen-und Aparatebau Scheuditz, este destinat răcirii, încălzirii, filtrării, umidificării și circulației aerului din încăperi. El are aplicabilitate în construcții de uz industrial, public, și privat și se poate folosi drept unitate complexă de condiționare a aerului în sistem mixt și cu recirculare a aerului în regiuni cu climat temperat și tropical.

Aparatul poate fi adaptat oricăror condiții de funcționare. Aspectul atrăgător al acestuia permite folosirea lui și în camere de reprezentare sau de protocol.

Este un aparat cu avantajul unui consum de energie mic. Reducerea consumului de energie este asigurată prin folosirea unor ventilatoare cu consum mic de energie, a unor unități RSE adaptabile și a unei unități pentru încălzirea apei la o temperatură joasă.

KT 4 poate fi livrat beneficiarilor ca unitate completă, cu condensator-răcitor de apă încorporat, sau ca dispozitiv de răcire a aerului, cu condensator structurat în rînduri.

Caracteristici tehnice:

Debitul volumului de aer V_{max} 0,44 m³/s,
V_{min} 0,22 m³/s,
(cu răcire 0,3 m³/s).

Efect frigorific net 4,8 kW (cu $t_{LE} = 26°C$, $F = 50\%$; $t_k = 45°C$).
Capacitate de încălzire 9,5 kW.
Încălzire electrică 4,9 kW.
Capacitate de umidificare 3 kg/h.
Nivel maxim de zgomot 66 dB (A).

* * *

Compresoare ermetice ILKA H 1 — 8/1,5— —011 și H1 — 28/5,5

Compresoarele H1 — 8/1,5 — 011 și H1 — 28/5,5 fabricate de VEB Maschinen-und Apparatebau Schkeuditz, sînt primele modele din seria compresoarelor cu debitul de 8 ... 30 m^3/h. Ele sînt echipate cu un mecanism cu bielă de acționare cu dublu efect.

Compresoarele sînt dispuse pe arcuri de suspensie în carcase de oțel și sînt prevăzute cu arbore cotit vertical, motor de inducție trifazat, în partea superioară și mecanism de acționare inferior.

Alimentarea cu ulei se bazează pe principiul centrifugal, efectuindu-se printr-un con de alimentare și, respectiv, prin orificiile din arborele cotit GGG pe care este dispusă, în contact direct, biela de acționare din aluminiu. Arborele cotit este montat pe lagăre antifricțiune de fiecare parte a mecanismului de acționare, iar rotorul motorului electric este dispus în poziție suspendată la extremitatea superioară a arborelui cotit.

La cutia terminală se află dispusă legătura electrică în stea și conexiunea bipolară pentru dispozitivul electronic de anclanșare, de protecție al motorului.

Comparativ cu compresoarele semiermetice, compresorul frigorific ILKA ermetic are dimensiuni mai reduse și greutate mai mică.

Caracteristici tehnice

Simbol		Tipul H1—8/1,5— —011	Tipul H1—28/5,5
Capacitate de refrigerare cu R.22+5/+45°C	Q,W	6 000	22 000
Putere de acționare cu R.22+5/45°C	P_{kl},W	1 900	7 300
Nivel de zgomot	L_p,dB(A)	65	65

Greta Andrei

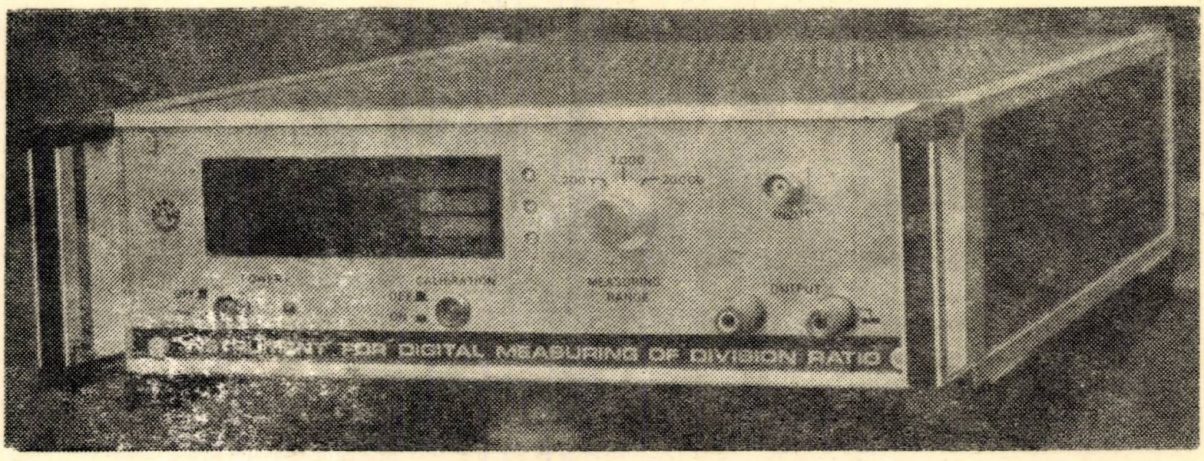
MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR ÉS SZOLGÁLAT

ICP-EP

CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA — ROMÂNIA
TELEFON 44494, TELEX 41234
I.C.S.I.T — M.T.A.E — CRAIOVA

ICSIT MTAE CRAIOVA

LABORATORUL DE ÎNALTĂ TENSIUNE EXECUTĂ:



APARATE PENTRU MĂSURAREA NUMERICĂ DIRECTĂ A RAPORTULUI DE DIVIZARE tip AMRD

utilizate pentru controlul şi măsurarea rapidă a raportului de divizare la divizoarele de tensiune împreună cu sistemele lor de adaptare în condiţii reale de funcţionare.

Aparatul AMRD poate fi utilizat atît pentru divizoare rezistive, cît şi pentru divizoare de tip capacitiv sau mixte (RC serie sau paralel), afişarea raportului de divizare fiind realizată numeric în domeniul 10 — 10 000 sau 20 — 20 000.

Calibrare cu divizor intern.

Clasa de precizie : 1%.

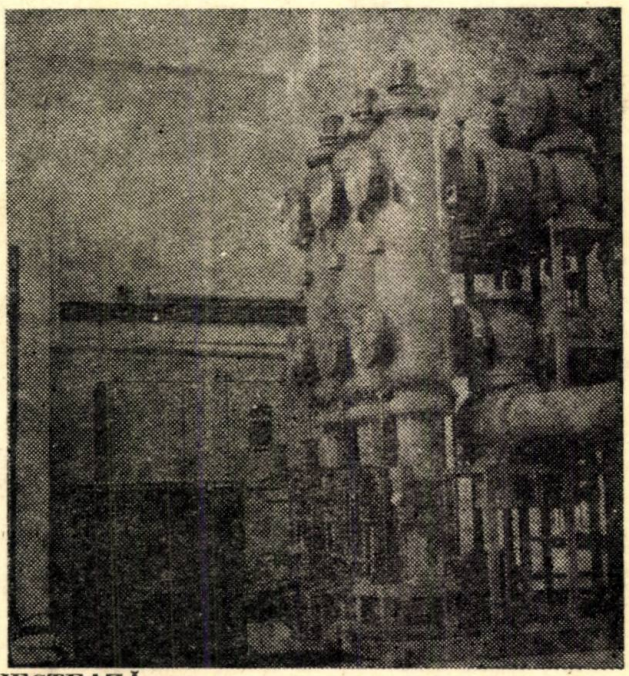
Dimensiuni : 340 × 250 × 140 mm.

electroexportimport

FOREIGN TRADE COMPANY.
BUCHAREST — ROMANIA
216 Calea Victoriei.
Telephone : 50 28 70.
Telex : 11.388—11.399

I.C.S.I.T. – M.T.A.E. – CRAIOVA
CALEA BUCUREŞTI 144, CRAIOVA-ROMÂNIA
TELEFON 44494, TELEX 41234

ICSIT MTAE CRAIOVA



1989 AUG 1

PROIECTEAZĂ :

ÎNTRERUPĂTOARE INDEPENDENTE CU SF_6 TIP H PENTRU TENSIUNI DE 72,5 – 420 kV

Ruperea arcului este asigurată pe principiul autosuflajului, care determină o construcţie simplă şi funcţională.

Avantaje :

- FIABILITATE RIDICATĂ
- DURATE MICI ALE ARCULUI ELECTRIC
- FUNCŢIONARE SILENŢIOASĂ
- PUTERE DE RUPERE RIDICATĂ
- GABARIT REDUS
- COSTURI MINIME DE INSTALARE ŞI ÎNTREŢINERE
- DURATĂ DE IMOBILIZARE DATORATĂ DEFECTELOR REDUSE

electroexportimport

Foreign Trade Company • Bucureşti — România 216 Calea Victoriei • Telephone: 50 28 70 • Telex: 11.388 — 11.399